

**Universidade do Extremo Sul Catarinense
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais**

Gláucia Cardoso de Souza-Dal Bó

**ESTUDO DA CADEIA DE RECICLAGEM DE VIDRO:
PERSPECTIVAS PARA OS MUNICÍPIOS DA REGIÃO CARBONÍFERA (AMREC)
A PARTIR DA ECONOMIA CIRCULAR**

**Criciúma
2019**

Gláucia Cardoso de Souza-Dal Bó

ESTUDO DA CADEIA DE RECICLAGEM DE VIDRO:
PERSPECTIVAS PARA OS MUNICÍPIOS DA REGIÃO CARBONÍFERA (AMREC) A
PARTIR DA ECONOMIA CIRCULAR

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade do Extremo Sul Catarinense para obtenção do Título de Doutor em Ciências Ambientais.

Área de Concentração: Ecologia e Gestão de Ambientes Alterados.

Orientador: Prof. Dr. Adriano Michael Bernardin.

Coorientadora: Profa. Dra. Viviane Kraieski de Assunção.

Criciúma
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

S729e Souza-Dal Bó, Gláucia Cardoso de.

Estudo da cadeia de reciclagem de vidro : perspectivas para os municípios da região carbonífera (AMREC) a partir da economia circular / Gláucia Cardoso de Souza-Dal Bó. - 2019.

231 p. : il.

Tese (Doutorado) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Criciúma, 2019.

Orientação: Adriano Michael Bernardin.

Coorientação: Viviane Kraieski de Assunção.

1. Economia circular. 2. Resíduos sólidos. 3. Resíduos de vidro - Reaproveitamento. 4. Reaproveitamento (Sobras, refugos, etc.). I. Título.

CDD 23. ed. 363.7282



unesc

Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC

Pró-Reitoria Acadêmica

Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação

Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais

PARECER

Os membros da Banca Examinadora homologada pelo Colegiado de Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais reuniram-se para realizar a arguição da Tese de DOUTORADO apresentada pela candidata **GLÁUCIA CARDOSO DE SOUZA DAL BÓ** sob o título: “**ESTUDO DA CADEIA DE RECICLAGEM DE VIDRO: PERSPECTIVAS PARA A REGIÃO CARBONÍFERA CATARINENSE A PARTIR DA ECONOMIA CIRCULAR**”, para obtenção do grau de **DOUTORA EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS** no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC. Após haver analisado o referido trabalho e arguida a candidata, os membros são de parecer pela “**APROVAÇÃO**” da Tese.

Criciúma/SC, 29 de março de 2019.

Prof. Dr. Pedro Rosso

Primeiro Examinador

Profa. Dra. Melissa Watanabe

Segundo Examinador

Prof. Dr. Nilzo Ivo Ladwig

Terceiro Examinador

Prof. Dr. Carlyle Torres Bezerra de Menezes

Quarto Examinador

Prof. Dr. Adriano Michael Bernardin

Presidente da Banca e Orientador

*A minha filha e ao meu esposo: Livia e
Marcelo, razão da minha existência.*

AGRADECIMENTOS

Diante do término desse ciclo, reporto meus sinceros agradecimentos àqueles que caminharam comigo e contribuíram, direta e indiretamente, para a minha qualificação profissional e amadurecimento pessoal.

Ao meu orientador Dr. Adriano Michael Bernardin e a minha coorientadora Dr^a. Viviane Kraieski de Assunção, ilustríssimos professores, que felizmente aceitaram o meu convite e me conduziram nesse processo que agora chega ao fim. Agradeço também aos professores, colegas e amigos feitos no âmbito do PPGCA, do PPGCEM e, especialmente, do GMC, que serão lembrados, certamente, em algum momento da minha vida. Prefiro não citar nomes. Sintam-se agradecidos pelo conhecimento e amizade compartilhados!

Ao IFSC, pela infraestrutura e bolsistas disponibilizados para realização da pesquisa experimental; e à Colorminas pelo fornecimento de matérias-primas e realização dos ensaios. Meus agradecimentos ao Marcelo Dal Bó, Lucas Dominguni, Fernando Marco Bertan e Juliano Selinger Patricio.

A todos os entrevistados, formal e informalmente, através dos quais pude coletar os dados e, principalmente, aprender um pouco mais sobre a simplicidade da vida. Agradeço também ao Danlei, pela elaboração das representações cartográficas, e à Thaise, que me auxiliou como bolsista de iniciação científica pela UNESC.

Aos professores membros da banca de qualificação e de defesa: Carlyle Torres Bezerra de Menezes, Nilzo Ladwig e Melissa Watanabe, da UNESC; e Lucas Dominguni e Pedro Rosso, do IFSC.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de pesquisa.

Cabe aqui, uma lembrança especial à Iza, que me amparou no início de todo o processo, diante da minha dificuldade de conciliar o doutorado com a maternidade. E nesse quesito, me reporto a minha sogra (Vani), minha irmã (Lise) e sobrinha (Di), que se fizeram presentes na minha ausência enquanto mãe.

Enfim, sou muito grata a DEUS e a minha família: meu esposo Marcelo, minha filha Lívia, minha mãe Leoni, minha irmã e aos seus (Di, Darshan e Éverton), meu saudoso pai Pedro e minha avó materna Dolória *in memoriam*; minhas referências de vida!

Sintam-se sinceramente agradecidos!

*"Ando devagar
Porque já tive pressa
E levei este sorriso
Porque já chorei demais
Hoje me sinto mais forte
Mais feliz, quem sabe
Só levei a certeza
De que muito pouco eu sei
Ou nada sei"
(Almir Sater).*

RESUMO

O vidro é um material largamente empregado pelas suas propriedades ligadas à transparência, impermeabilidade, resistência ao calor e ao desgaste. Enquanto resíduo, destaca-se pelo seu potencial de reutilização e reciclagem, implicando redução de custos produtivos com matéria-prima e energia. De todo modo, alguns fatores impedem o estabelecimento de canais reversos de reaproveitamento: a baixa rentabilidade e dificuldade de comercialização pela base da cadeia de reciclagem; riscos atrelados ao seu manuseio; distância entre a fonte geradora e os polos de reciclagem. Diante do subaproveitamento do vidro pós-consumo como questão central e admitindo a Região Carbonífera Catarinense como *locus* de análise, a presente pesquisa se propôs estudar a cadeia da reciclagem desse material e analisar a viabilidade técnica de reciclagem de um tipo específico de vidro, cujo reaproveitamento é ainda mais dificultado pela presença de polímero na sua composição: o vidro plano laminado automotivo. Em face do grande diagnóstico ao qual se chegou, valeu-se da economia circular como referência para apontar alternativas de otimização dos fluxos reversos dos resíduos vítreos. Os dados foram coletados através de pesquisa bibliográfica, documental, eletrônica, de campo e experimental. Foram entrevistados 22 sujeitos de pesquisa, entre técnicos atuantes em órgãos públicos municipais ligados ao manejo de Resíduos Sólidos Urbanos e integrantes da cadeia de reciclagem de vidro com abrangência na unidade de estudo. Estimou-se um potencial gerador de resíduos vítreos na ordem de 4,1 mil t/ano e uma geração *per capita* média de 8,4 kg/hab./ano. Cerca de 4% do vidro descartado é recuperado pelos programas municipais de coleta seletiva. Quanto aos integrantes da cadeia de reciclagem, foram mapeados 27 atores: 25% pertencentes à base, 45% dedicam-se à intermediação e 30% compreendem os recicladores. Os produtos comercializados são: caco sujo (vidro misto), embalagens unitárias, pó de vidro (vidro moído), composto de vidro e fritas cerâmicas. As rotas de escoamento do vidro misto e plano, de modo geral, caracterizam-se pelo beneficiamento e fornecimento de insumos para o segmento cerâmico em âmbito regional e pela sua incorporação na fabricação de novas embalagens por vidrarias situadas em SP e RS. No que se refere aos resultados da pesquisa experimental, atestou-se a viabilidade técnica de reciclagem do vidro de para-brisas, admitindo que um percentual considerável de amostras com adição de resíduo mostrou-se com desempenho igual ou superior às formulações comerciais. Portanto, em face da possibilidade de emprego do vidro de embalagem e plano, incluindo o laminado automotivo, como insumo produtivo substituto de matérias-primas virgens pela indústria cerâmica, acredita-se que a otimização dos canais reversos desse material e a promoção de fluxos mais circulares, estão atrelados ao reaproveitamento local dos resíduos vítreos por esse segmento ou por outros característicos da unidade de estudo, que podem ser futuramente investigados. Ademais, propiciar melhores condições de trabalho à base da cadeia de reciclagem e promover a sua inclusão social e produtiva é fundamental para que o atual cenário de desvalorização dos RSU e subaproveitamento do vidro pós-consumo seja modificado, tanto na Região Carbonífera quanto no país.

Palavras-chaves: Economia Circular; Resíduos Sólidos; Vidro; Vidro Laminado Automotivo; Reciclagem.

ABSTRACT

Glass is a material widely used for its properties linked to transparency, impermeability, resistance to heat and wear. As waste, it stands out for its potential for reuse and recycling, implying reduction of production costs with raw materials and energy. In any case, some factors prevent the establishment of reverse reuse channels: the low profitability and difficulty of commercialization by the base of the recycling chain; risks associated with its handling; distance between the generating source and the recycling poles; aggravated by the fact that it is a fragile and low density material. Faced with the underutilization of post-consumption glass as a central issue and admitting the Santa Catarina Carboniferous Region as a locus of analysis, the present study aimed to study the recycling chain of this material and to analyze the technical viability of recycling a specific type of glass, whose reuse is further differentiated by the presence of polymer in its composition: the automotive laminated flat glass. In view of the results obtained from the large diagnosis made, the precepts of circular economy were used as reference to point out alternatives of optimization of the reverse flows of the vitreous residues. Data were collected through bibliographic, documentary, electronic, field and experimental research. Twenty-two research subjects were interviewed, among technicians working in municipal public agencies linked to MSW management and members of the glass recycling chain within the study unit. It was estimated a potential vitreous waste generator in the order of 4,100 t / year and an average per capita generation of 8.4 kg / hab / year. About 4% of the discarded glass is recovered by the municipal selective collection programs. As for the members of the recycling chain, 27 actors were mapped: 25% belonging to the base, 45% engaged in intermediation and 30% comprised recyclers. The products marketed are ground glass (mixed glass), unit packs, glass powder, glass compound and ceramic frits. The flow routes of mixed and flat glass are generally characterized by the processing and supply of inputs for the ceramic segment in a regional scope and by its incorporation in the manufacture of new packaging by glassworks located in SP and RS. Regarding the results of the experimental research, the technical feasibility of the recycling of the windscreen glass was confirmed, admitting that a considerable percentage of samples with addition of residue showed a performance equal to or greater than the commercial formulations. Therefore, in view of the possibility of using the packaging and plan glass, including the automotive laminate, as a substitute productive raw material for the ceramic industry, it is believed that the optimization of the reverse channels of this material and the promotion of more circulars, are linked to the local reuse of vitreous waste by this segment or by other characteristics of the study unit, which can be further investigated. In addition, providing better working conditions based on the recycling chain and promoting their social and productive inclusion is fundamental so that the current scenario of devaluation of MSW and under-use of post-consumer glass is modified, both in the Carboniferous Region and in the country.

Keywords: Circular Economy; Solid Waste; Glass; Automotive Laminating Glass; Recycling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Dinâmica do modelo linear.	29
Figura 2 – Dinâmica da economia circular: materiais biológicos e técnicos.	32
Figura 3 – Hierarquia de ações prioritárias na gestão de resíduos sólidos, de acordo com a PNRS.	42
Figura 4 – Processo de solidificação de sólidos cristalinos e amorfos.	46
Figura 5 – Efeito da temperatura na viscosidade de diferentes vidros.	47
Figura 6 – Curva típica de expansão térmica em um vidro.	48
Figura 7 – Estimativa de produção do vidro, por tipo: fundido (total), oco, plano e especial.	50
Figura 8 – Distribuição e evolução do consumo de vidro no país entre 2000 e 2015.	51
Figura 9 – Composição e aplicação do vidro plano laminado.	52
Figura 10 – Caracterização da função de segurança atribuída ao vidro laminado automotivo, comparativamente aos vidros recozido e temperado.	53
Figura 11 – Cadeia de reciclagem do vidro laminado automotivo no Rio Grande do Sul.	55
Figura 12 – Seção transversal de um revestimento cerâmico com visualização das camadas que o constituem.	58
Figura 13 – Representação da produção de esmaltes cerâmicos e da técnica mais comumente empregada: o sistema de aplicação por cortina contínua.	58
Figura 14 – Etapas do processo produtivo das fritas cerâmicas.	60
Figura 15 – Estrutura do mercado de sucatas no Brasil.	61
Figura 16 – Cadeia de valor da reciclagem para resíduo pós-consumo.	63
Figura 17 – Fluxograma dos elos que compõem a cadeia produtiva da reciclagem.	63
Figura 18 – Unidades produtivas correlacionadas às etapas da reciclagem.	66
Figura 19 – Hierarquia da cadeia de reciclagem em Criciúma (SC) e região.	67
Figura 20 – Fluxograma percorrido pelos resíduos vítreos em Santa Catarina.	68
Figura 21 – Integrantes da cadeia de reciclagem de vidro, por fase do processo e considerando o reuso ilegal e o mercado de falsificação de bebidas.	69
Figura 22 – Taxa de reciclagem de embalagens de vidro no Brasil, entre 1992 e 2011.	70
Figura 23 – Composição do vidro soda-cal a partir de matéria-prima virgem e secundária.	71
Figura 24 – Localização da unidade de estudo: a AMREC.	76
Figura 25 – Panorama dos municípios da Região Carbonífera em relação aos parâmetros que compõem o IDHM.	78
Figura 26 – Número de roteiros de entrevistas, sujeitos de pesquisa e objetivos contemplados.	83
Figura 27 – Fontes de pesquisa documental e indicadores consultados/calculados para a elaboração do panorama nacional.	84
Figura 28 – Fontes de pesquisa documental e indicadores consultados/calculados para a elaboração do panorama regional.	85

Figura 29 – Sujeitos de pesquisa entrevistados atuantes direta e indiretamente na cadeia de reciclagem de vidro pós-consumo no âmbito da AMREC; e dados coletados.....	87
Figura 30 – Esquema de condução da pesquisa, a partir do mapeamento dos possíveis integrantes da cadeia de reciclagem de vidro pós-consumo, AMREC.....	88
Figura 31 – Descrição do procedimento realizado em laboratório para obtenção das fritas e esmaltes cerâmicos a partir de resíduo de vidro laminado automotivo.	93
Figura 32 – Procedimento sistemático de classificação para a resistência ao ataque químico em revestimentos cerâmicos.	96
Figura 33 – Condução da pesquisa para identificação das alternativas de otimização dos canais reversos de vidro pós-consumo no âmbito da AMREC.	99
Figura 34 – Massa <i>per capita</i> de RSU gerada e coletada (kg/hab./dia), Brasil – ABRELPE e SNIS (2009-2016).	101
Figura 35 – Massa coletada <i>per capita</i> em relação à região geográfica, Brasil – (SNIS, 2016).	102
Figura 36 – Percentual de municípios por tipo de disposição final, Brasil – (ABRELPE, 2009-2016).....	104
Figura 37 – Número de unidades de processamento de destinação e disposição final, Brasil – (SNIS, 2009-2016).	104
Figura 38 – Quantidade recebida pelas unidades de processamento (milhões de ton.), Brasil – (SNIS, 2009-2016).	105
Figura 39 – Distribuição dos municípios com coleta seletiva, Brasil – (CEMPRE, 2016)....	106
Figura 40 – Situação dos municípios brasileiros em relação à coleta seletiva, Brasil – (ABRELPE, 2009-2016).	107
Figura 41 – Situação dos municípios brasileiros em relação à coleta seletiva, Brasil (2012-2016) – SNIS.	107
Figura 42 – Taxa de desvio de lixo da disposição final, Brasil – (SNIS, 2009-2016).	108
Figura 43 – Evolução da composição gravimétrica do lixo domiciliar brasileiro, segundo diferentes fontes, Brasil.	109
Figura 44 – Estimativa da massa <i>per capita</i> coletada de RSU e de vidro (kg/hab./ano), Brasil (2009-2016) – ABRELPE e SNIS.	110
Figura 45 – Estimativa da massa total coletada de vidro (milhões t/ano), Brasil (2009-2016) – ABRELPE e SNIS.	111
Figura 46 – Composição gravimétrica dos RSU gerados no país e estimativa de geração e recuperação dos resíduos vítreos.	112
Figura 47 – Localização das unidades de triagem e dos aterros sanitários adotados pelos municípios da AMREC.	115
Figura 48 – População atendida pela coleta seletiva e taxa de recolhimento da fração reciclável (desvio do aterro sanitário), AMREC.	119
Figura 49 – Comparativo da composição gravimétrica dos RSU em relação às frações orgânica e reciclável seca e ao rejeito, Brasil, Santa Catarina e Região Carbonífera.	120
Figura 50 – Estimativa da massa <i>per capita</i> coletada de RSU e de vidro (kg/hab./ano), por município da Região Carbonífera.....	121

Figura 51 – Estimativa do potencial de material vítreo na massa de RSU coletada, por município da Região Carbonífera.....	122
Figura 52 – Estimativa de geração e recuperação dos resíduos vítreos na Região Carbonífera.	123
Figura 53 – Coletor de vidro no município de Nova Veneza, SC.....	124
Figura 54 – Coleta seletiva através de PEV’s em Nova Veneza, SC.....	125
Figura 55 – Coleta seletiva em Balneário Rincão, com foco nos resíduos vítreos.....	125
Figura 56 – Caracterização da pesquisa em relação ao número de potenciais integrantes da cadeia de reciclagem de vidro pós-consumo identificados, contatados e entrevistados (etapas II e III).	126
Figura 57 – Distribuição dos entrevistados, integrantes da cadeia de reciclagem de vidro pós-consumo descartado na Região Carbonífera.	127
Figura 58 – Fluxo dos resíduos vítreos no âmbito da Região Carbonífera.	128
Figura 59 – Distribuição dos integrantes da cadeia de reciclagem de vidro pós-consumo descartado na Região Carbonífera, por unidade produtiva.....	129
Figura 60 – Distribuição dos tipos de produtos comercializados pelos integrantes da cadeia de reciclagem de vidro pós-consumo descartado na Região Carbonífera – abrangência: SC, RS, SP.....	129
Figura 61 – Localização dos fornecedores e compradores de resíduos vítreos pós-consumo, no âmbito da Região Carbonífera – abrangência: SP, PR, SC e RS.....	130
Figura 62 – Número de integrantes da cadeia de reciclagem de vidro, de acordo com banco de dados do CEMPRE.....	131
Figura 63 – Detalhamento das rotas características do vidro pós-consumo descartado ou reaproveitado no âmbito da AMREC, embasado nos atores mapeados.....	132
Figura 64 – Hierarquia da cadeia de reciclagem de vidro pós-consumo no âmbito da AMREC.	134
Figura 65 – Distribuição dos integrantes mapeados da base da cadeia de reciclagem de vidro – abrangência: AMREC, SC.....	135
Figura 66 – Segregação e armazenamento do vidro misto e das embalagens unitárias nas unidades de triagem entrevistadas, AMREC.....	137
Figura 67 – Fluxograma da cadeia de reciclagem de vidro: relações estabelecidas entre a base e os sucateiros, por localização e tipo de vidro (embalagem e misto), AMREC, SC.	140
Figura 68 – Fluxograma da cadeia de reciclagem de vidro: relações estabelecidas entre a fonte geradora e os intermediários, por localização e tipo de vidro (plano e de embalagem).....	141
Figura 69 – Distribuição dos integrantes intermediários da cadeia de reciclagem de vidro mapeados – abrangência: SC e RS.	142
Figura 70 – Acondicionamento dos resíduos vítreos pelo sucateiro de Içara, SC.....	144
Figura 71 – Esquema de uma usina de composição.	145
Figura 72 – Distribuição dos integrantes situados no topo da cadeia de reciclagem de vidro pós-consumo mapeados – abrangência: SC, RS e SP.	148
Figura 73 – Fluxograma da cadeia de reciclagem de vidro: relações estabelecidas entre os intermediários e os recicladores – abrangência: SC, RS, PR e SP.	149

Figura 74 – Processo produtivo da empresa caracterizada como recicladora, que emprega resíduos vítreos na fabricação de fritas cerâmicas, Içara, SC.....	150
Figura 75 – Participação das fontes geradoras de resíduos de vidro laminado automotivo, nas cidades de Araranguá, Criciúma, Içara e Tubarão em 2015.....	153
Figura 76 – Participação das fontes geradoras de resíduos de vidro laminado automotivo, na cidade de Criciúma em 2017.	155
Figura 77 – Quantidade estimada descartada de vidro de para-brisas em Criciúma, 2015-2017.	156
Figura 78 – Etapas da separação do vidro laminado automotivo: (A) Vidro de para-brisas quebrado; (B) Polímero constituinte do vidro de para-brisas após a moagem; (C) Resíduo de pó de vidro de para-brisas após a separação do polímero.	158
Figura 79 – Grau de brancura (L^*) dos esmaltes-testes em relação ao esmalte-padrão.....	160
Figura 80 – Brilho (G) dos esmaltes-testes em relação ao esmalte-padrão.....	161
Figura 81 – Peças cerâmicas esmaltadas sem incorporação de resíduo – amostras padrão (a) STD – e com incorporação de resíduo – amostras testes (b) Teste.	161
Figura 82 – Resistência ao risco (Mohs) dos esmaltes-testes em relação ao esmalte-padrão.....	162
Figura 83 – Microdureza Knoop (HK, gf/cm ²) dos esmaltes-testes em relação à média dos esmaltes-padrão.	162
Figura 84 – Microdureza Vickers (HV, kgf/cm ²) dos esmaltes-testes em relação à média dos esmaltes-padrão.	163
Figura 85 – Resistência ao ataque químico das amostras-testes, empregando hipoclorito de sódio (NaClO).	164
Figura 86 – Resistência ao ataque químico das amostras-testes, empregando ácido clorídrico (HCl).....	165
Figura 87 – Amostras-testes submetidas ao ensaio de resistência ao ataque químico por HCl, com alterações visíveis.	166
Figura 88 – Coeficiente de expansão térmica linear teórico dos esmaltes-testes.....	168
Figura 89 – Imagem da seção transversal das amostras com diferentes percentuais de resíduo, comparativamente à amostra-padrão com 150x de ampliação. (a) FI 32 std; (b) F11; (c) F36; (d) F38.	173
Figura 90 – Imagem da seção transversal das amostras com diferentes percentuais de resíduo, comparativamente à amostra-padrão com 500x de ampliação. (a) FI 32 std; (b) F11; (c) F36; (d) F38.	174
Figura 91 – Imagem da seção transversal da amostra F38A (15% de resíduo) com 1000x de ampliação.....	175
Figura 92 – Número de ações em triagem e em número de PEV's por estados do país, realizados pelas empresas signatárias do acordo setorial de embalagens, assinado em 2015.	179
Figura 93 – Estrutura do sistema de logística reversa objeto do acordo setorial e identificação dos elos para descarte e destinação de embalagens em geral.	180
Figura 94 – Ações características da gestão de RSU, por ordem de prioridade, e relação com a economia circular.	182

Figura 95 – Coletores de vidro na Alemanha, denominados “bancos de garrafas” (“ <i>bottle bancks</i> ”), cuja segregação é feita por cor – coleta monomaterial.	185
Figura 96 – Modelo tecnológico proposto para a gestão de RSU em municípios da AMREC, com destaque para o LEV.	185
Figura 97 – Coletor monomaterial e caminhão coletor com caçamba e guindaste.	186
Figura 98 – Coletores para materiais vítreos: (a) recipientes utilizados nas unidades de triagem locais atualmente e (b) caixa tipo <i>brooks</i> , indicada para armazenamento do vidro pós-consumo segregado por tipo ou cor.	188
Figura 99 – Proposta para coleta e destinação do vidro pós-consumo adotada pela COMCAP em Florianópolis, SC.	189
Figura 100 – Projeção da geração de RSU e da geração de resíduos vítreos, AMREC (2015-2034).	190
Figura 101 – Caracterização da geração de RSU na central de gerenciamento de Criciúma, SC – reaproveitamento de resíduos vítreos a uma taxa de 47%.	191
Figura 102 – Caracterização da geração de RSU na central de gerenciamento de Urussanga, SC – reaproveitamento de resíduos vítreos a uma taxa de 47%.	192
Figura 103 – Estimativa mensal de custos relativos ao aterramento e à receita obtida com a comercialização dos resíduos vítreos no âmbito da AMREC: diferentes cenários.	194
Figura 104 – Caracterização do principal fluxo de caco misto descartado no âmbito da AMREC, SC.	196
Figura 105 – Rede de alternativas para a otimização do reaproveitamento local do vidro pós-consumo no âmbito da Região Carbonífera, SC.	197

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Faixas mais utilizadas de geração <i>per capita</i> (kg/hab./dia).....	39
Tabela 2 – Composição e aplicações típicas de vidros comerciais.	44
Tabela 3 – Consumo de vidros planos processados em m ²	54
Tabela 4 – Estimativa da participação da coleta seletiva na quantidade reciclada no país.	71
Tabela 5 – Preço de comercialização do vidro limpo em diferentes estados brasileiros.....	74
Tabela 6 – Matriz de indicadores demográficos, por municípios da Região Carbonífera, Santa Catarina e Brasil.	77
Tabela 7 – Matriz de indicadores socioeconômicos, por municípios da Região Carbonífera, Santa Catarina e Brasil.	79
Tabela 8 – Composição do esmalte fabricado a partir das fritas recicladas.	92
Tabela 9 – Indicadores de meio ambiente investigados pela pesquisa MUNIC, 2017 – IBGE.	100
Tabela 10 – Massa coletada <i>per capita</i> em relação às faixas populacionais, Brasil – (SNIS, 2016).....	102
Tabela 11 – Massa coletada de RSU (milhões de ton.), Brasil – (ABRELPE; SNIS, 2009-2016).....	103
Tabela 12 – Disposição final de resíduos sólidos por unidade de destino (%), Brasil – (PNSB, 1989-2008).	103
Tabela 13 – Número de programas de coleta seletiva, Brasil – (PNSB, 1989-2008).	106
Tabela 14 – Evolução do percentual de municípios brasileiros com coleta seletiva segundo fontes diversas, Brasil (2008-2017).....	108
Tabela 15 – Composição média do lixo domiciliar em diferentes países (% em peso).	110
Tabela 16 – Quantidade de vidro na composição do lixo domiciliar de acordo com a renda, em %.....	110
Tabela 17 – Diagnóstico da geração de resíduos sólidos domiciliares, AMREC.	114
Tabela 18 – Composição gravimétrica dos RSU provenientes da coleta convencional urbana e percentual de vidro, AMREC.	121
Tabela 19 – Caracterização comparativa das unidades de triagem atuantes na Região Carbonífera em relação à quantidade total triada, infraestrutura, n° de colaboradores, renda média mensal e produtividade.	135
Tabela 20 – Caracterização comparativa das unidades de triagem atuantes na Região Carbonífera em relação ao vidro.	138
Tabela 21 – Preço das embalagens unitárias de vidro comercializadas na unidade de estudo, AMREC e sul catarinense.....	138
Tabela 22 – Preços de compra do vidro praticados pelo reciclador, integrante da cadeia de reciclagem de vidro no âmbito da AMREC.	151
Tabela 23 – Tipo de produto e capacidade produtiva das vidrarias mapeadas.....	152
Tabela 24 – Composição química das fritas cerâmicas comerciais, expressa em % em peso.	157

Tabela 25 – Composição química das amostras de resíduo de vidro laminado automotivo, expressa em % em peso.	158
Tabela 26 – Composição química das 40 formulações de fritas cerâmicas (em % de óxidos), de acordo com o planejamento de misturas.	159
Tabela 27 – Faixas de variação da composição (em % de óxidos) das fritas comerciais e das fritas experimentais, obtidas por planejamento de misturas.	159
Tabela 28 – Formulação das fritas experimentais em % em peso das matérias-primas.	159
Tabela 29 – Compilação dos resultados relativos à resistência ao ataque químico dos esmaltes-testes, empregando NaClO e HCl como reagentes agressivos.	164
Tabela 30 – Síntese dos resultados dos esmaltes-testes em relação aos esmaltes-padrão (colorimetria e dureza).	166
Tabela 31 – Síntese dos resultados dos esmaltes-padrões (colorimetria e dureza).	167
Tabela 33 – Coeficiente de expansão térmica linear teórico dos esmaltes-padrão.	168
Tabela 33 – Comparativo entre o coeficiente de expansão térmica linear teórico e experimental.	169
Tabela 34 – Caracterização térmica das formulações com incorporação de resíduo de vidro laminado automotivo em relação à amostra-padrão.	169
Tabela 35 – Comparativo entre propriedades colorimétricas de esmaltes-testes com diferentes percentuais de incorporação de resíduo de vidro laminado automotivo.	170
Tabela 36 – Comparativo entre propriedades mecânicas de formulações com diferentes percentuais de incorporação de resíduo de vidro laminado automotivo.	171
Tabela 37 – Comparativo entre o coeficiente de expansão térmica linear teórico e experimental de amostras com diferentes percentuais de resíduo de vidro laminado automotivo.	172
Tabela 38 – Caracterização térmica das formulações com diferentes percentuais de resíduo de vidro laminado automotivo, em relação à amostra-padrão.	172
Tabela 39 – Comparativo entre a composição química das fritas cerâmicas obtidas através do planejamento estatístico (DOE) com os resultados obtidos pelo ensaio de FRX (% em peso).	175
Tabela 40 – Metas de redução dos recicláveis secos dispostos em aterro, em percentual (%) – Brasil.	181
Tabela 41 – Metas de redução dos recicláveis secos dispostos em aterro: taxa de desvio de aterro em percentual (%) – Região Carbonífera, SC.	183
Tabela 42 – Caracterização da geração de RSU na central de gerenciamento de Criciúma, SC.	190
Tabela 43 – Caracterização da geração de RSU na central de gerenciamento de Urussanga, SC.	192
Tabela 44 – Variação admitida para projeção dos cenários de reaproveitamento dos resíduos vítreos, Região Carbonífera, SC.	193
Tabela 46 – Estimativa de custos relacionados à otimização da coleta e destinação de resíduos vítreos.	200

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIVIDRO – Associação Brasileira de Indústrias Automáticas de Vidro

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRAVIDRO – Associação Brasileira de Distribuidores e Processadores de Vidros Planos

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

ACAFOR – Associação de Catadores de Forquilha

ACRICA – Associação Criciumense de Catadores

ACV – Avaliação do Ciclo de Vida

AMREC – Associação dos Municípios da Região Carbonífera.

CEMPRE – Compromisso Empresarial para a Reciclagem

CIRSURES – Consórcio Intermunicipal de Resíduos Sólidos Urbanos da Região Sul

CMMAD – Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento

CNI – Confederação Nacional das Indústrias

CNM – Confederação Nacional dos Municípios

COMCAP – Autarquia de Melhoramentos da Capital

COOPERAMÉRICA – Cooperativa de Reciclagem do Rio América

CTMAR – Cooperativa de Trabalhadores de Materiais Recicláveis

EMF – Ellen Macarthur Foundation

FEVE – Federação de Embalagens de Vidro da União Europeia

FIESC – Federação das Indústrias do Estado de Santa Catarina

GIRSU – Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICR-SC – Índice de Competitividade Regional

IDHM – Índice de Desenvolvimento Humano Municipal

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

LEV – Locais de Entrega Voluntária

MME – Ministério de Minas e Energia

MNCR – Movimento Nacional de Catadores de Materiais Recicláveis

PEV – Pontos de Entrega Voluntária

PIB – Produto Interno Bruto

PMGIRS – Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos

PML – Produção Mais Limpa

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

PNSB – Plano Nacional de Saneamento Básico

PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

PVB – Polivinilbutiral

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

SEBRAE – Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

SINIR – Sistema Nacional de Informações sobre a gestão de Resíduos Sólidos

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	21
1.1 PROBLEMATIZAÇÃO	22
1.2 OBJETIVOS	24
1.2.1 Geral	24
1.2.2 Específicos	24
1.3 ESTRUTURA DA TESE E QUESTÕES NORTEADORAS	25
2 ENCAMINHAMENTO TEÓRICO CONCEITUAL	27
2.1 FLUXOS LINEARES X FLUXOS CIRCULARES	27
2.1.1 A Economia Circular	29
2.2 RESÍDUOS SÓLIDOS	34
2.2.1 Definições e classificações	37
2.2.2 Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)	38
2.2.3 A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e os Planos de Gestão Integrada	40
2.2.4 A reciclagem como alternativa de destinação	41
2.3 O VIDRO	43
2.3.1 Tipos de vidro: classificação, características gerais e aplicações	43
2.3.2 Características técnicas relacionadas à produção de vidro	45
2.3.3 Capacidade produtiva e consumo aparente	50
2.4 O VIDRO LAMINADO AUTOMOTIVO	52
2.4.1 Reciclagem de vidro de para-brisas	54
2.4.2 Reaproveitamento de resíduos pelo segmento cerâmico	56
2.5 CADEIA DE RECICLAGEM: ATORES, ELOS E DIFICULDADES	61
2.5.1 Nomenclaturas e atuação dos integrantes da cadeia de reciclagem	65
2.5.2 Cadeia de reciclagem de vidro pós-consumo	67
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	76
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE DE ESTUDO	76
3.2 NATUREZA DA PESQUISA	80
3.3 COLETA E SISTEMATIZAÇÃO DOS DADOS	82
3.3.1 Diagnóstico do manejo de RSU e potencial de geração e valorização dos resíduos vítreos	84
3.3.2 Cadeia de reciclagem de vidro pós-consumo	87
3.3.3 Diagnóstico da geração e destinação dos resíduos de vidro laminado automotivo em Criciúma e região (SC)	90
3.3.4 Pesquisa experimental	91
3.3.5 Alternativas para otimização dos canais reversos da reciclagem de vidro na Região Carbonífera sob a perspectiva da economia circular	98

4 MANEJO DE RSU PÓS-PNRS: DIAGNÓSTICO DA GERAÇÃO, DESTINAÇÃO E VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS VÍTREOS.....	100
4.1 PANORAMA NACIONAL	100
4.1.1 Geração e destinação de RSU com base na ABRELPE e no SNIS	101
4.1.2 A evolução da coleta seletiva no Brasil	106
4.1.3 A composição gravimétrica e o potencial de geração e valorização de resíduos vítreos.....	109
4.2 PANORAMA REGIONAL.....	113
4.2.1 Geração e destinação dos RSU na Região Carbonífera	114
4.2.2 Composição gravimétrica, geração e valorização dos resíduos vítreos na Região Carbonífera	120
5 DIAGNÓSTICO DA CADEIA DE RECICLAGEM DE VIDRO NA REGIÃO CARBONÍFERA	126
5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS: UM PANORAMA GERAL	126
5.2 SITUAÇÃO DA BASE DA CADEIA DE RECICLAGEM DE VIDRO.....	134
5.3 SITUAÇÃO DOS INTERMEDIÁRIOS	139
5.4 SITUAÇÃO DO TOPO DA CADEIA DE RECICLAGEM DE VIDRO.....	148
6 REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUO DE VIDRO LAMINADO AUTOMOTIVO NA FABRICAÇÃO DE FRITAS E ESMALTES CERÂMICOS.....	153
6.1 DIAGNÓSTICO DA GERAÇÃO E DESTINAÇÃO DO RESÍDUO DE VIDRO LAMINADO AUTOMOTIVO EM CRICIÚMA E REGIÃO (SC)	153
6.2 FABRICAÇÃO DE FRITAS E ESMALTES CERÂMICOS A PARTIR DE RESÍDUO DE VIDRO LAMINADO AUTOMOTIVO	157
6.2.1 Considerações iniciais.....	157
6.2.2 Caracterização colorimétrica	160
6.2.3 Caracterização da dureza Mohs, Knoop e Vickers	161
6.2.4 Caracterização da resistência ao ataque químico.....	164
6.2.5 Síntese dos resultados: colorimetria, dureza e resistência ao ataque químico	166
6.2.6 Caracterização térmica	168
6.2.7 Análise comparativa entre amostras com diferentes percentuais de resíduo de vidro laminado	170
7 ECONOMIA CIRCULAR E RESÍDUOS VÍTREOS NA REGIÃO CARBONÍFERA: UMA PRIMEIRA APROXIMAÇÃO.....	177
7.1 LOGÍSTICA REVERSA, INDICADORES DE REAPROVEITAMENTO DA FRAÇÃO RECICLÁVEL E ECONOMIA CIRCULAR	178
7.2 VALORIZAÇÃO DO VIDRO PÓS-CONSUMO: MODELOS E POSSIBILIDADES .	184
7.2.1 Proposição de cenários a partir da regionalização da gestão integrada de resíduos sólidos na AMREC	189
7.2.2 Reaproveitamento local do vidro pós-consumo	194
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	203

8.1 PERSPECTIVAS PARA TRABALHOS FUTUROS.....	206
9 REFERÊNCIAS	208
APÊNDICE 1 – ROTEIRO DAS ENTREVISTAS SEMI-ESTRUTURADAS.....	222
APÊNDICE 2 – MAPEAMENTO DOS POTENCIAIS INTEGRANTES DA CADEIA DE RECICLAGEM DE VIDRO POR ETAPA.....	229

1 INTRODUÇÃO

A geração de resíduos sólidos é um problema recorrente em todo o mundo, não somente pela produção exacerbada e pela diversidade de materiais que são diariamente descartados, mas pela necessidade de alternativas de valorização e destinação ambientalmente adequadas. A fabricação de componentes quimicamente mais complexos faz com que esses materiais consumidos habitualmente de forma desenfreada permaneçam no ambiente por um longo período, quando não por tempo indeterminado.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS, Lei n. 12.305) foi instituída em 2010 com a finalidade de suprir as demandas e lacunas acerca do manejo integrado de resíduos sólidos no país. Mesmo que tenham sido delimitados prazos para readequações e a concessão de recursos por parte da União tenha sido atrelada ao cumprimento de alguns requisitos pelos entes federados, as práticas de não geração e de valorização dos resíduos pelos diversos setores da sociedade ainda não são percebidas de forma articulada, tampouco consolidada em território nacional.

Dentre os instrumentos para implementação da PNRS, elencam-se: os planos de gestão de resíduos, a coleta seletiva com inclusão de catadores, os sistemas de logística reversa e a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos. No entanto, passados nove anos da promulgação da Lei 12.305, 45% dos municípios brasileiros ainda não possuem um Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) (MUNIC/IBGE, 2018).

Ainda como desmembramento da PNRS, firmou-se um acordo setorial entre a União e o setor empresarial, assinado em 2015, relacionado à obrigatoriedade de estruturação e implementação de um sistema de logística reversa de embalagens no país, que tem por finalidade a redução da fração seca potencialmente reciclável disposta em aterros sanitários através de apoio técnico e operacional às associações e cooperativas de catadores e a instalação e manutenção de Pontos de Entrega Voluntária (PEV's).

Estima-se que sejam descartadas no país um total de 59,5 milhões de t/ano (SNIS, 2016) e desse montante, cerca de 35% constitui-se por materiais potencialmente recicláveis, tais como: papel, plástico, metal e vidro (BRASIL, 2012). Em contrapartida, a massa recebida pelas unidades de triagem corresponde a somente 3,2% do total recebido pelas unidades de processamento (SNIS, 2018).

Do mesmo modo, o percentual de municípios com coleta seletiva mostra a ingerência das rotas de reaproveitamento no país, já que no diagnóstico do SNIS referente ao ano de 2016, 21,8% das cidades brasileiras declararam tê-la (SNIS, 2017).

No grupo de materiais seletivos objeto do acordo setorial, encontra-se o vidro. Os setores produtivos que mais o empregam são a construção civil, a indústria automotiva e de bebidas. A capacidade produtiva de vidro de embalagem e plano no país está estimada em 3,2 milhões t/ano com uma geração de 13 mil empregos diretos e um faturamento líquido de R\$ 10 bilhões de reais (AKERMAN, 2014; ZAMPELLI, 2017).

Trata-se de um material largamente empregado nas diversas atividades cotidianas, sobretudo, pela sua transparência, impermeabilidade e resistência a altas temperaturas. Em relação aos ganhos ambientais, compreende um resíduo inerte, reutilizável, 100% reciclável e higiênico (PINTO-COELHO, 2009; DIAS; CRUZ, 2009).

A indústria vidreira pode praticar a reciclagem interna e externa ao seu processo produtivo (GOULART, 2010), no qual, parte da matéria-prima virgem é substituída por cacos de vidro triturados (BRASIL, 2018). Uma embalagem de vidro pode ter até 80% de sua composição à base de cacos e ser reciclada inúmeras vezes sem perda de qualidade (ABIVIDRO, 2013).

1.1 PROBLEMATIZAÇÃO

Sob a perspectiva da base da cadeia de reciclagem de vidro, trata-se de um material subaproveitado, de baixa rentabilidade e conseqüente dificuldade de comercialização, comparativamente aos demais recicláveis. O seu manuseio requer cuidado nas etapas de coleta, transporte e triagem; e implica em aumento de custos nos sistemas de coleta de lixo, sobretudo, no convencional, pelos danos causados aos caminhões coletores compactadores (COMCAP, 2013; CIRSURES, 2015).

Ademais, as distâncias continentais típicas do território brasileiro precisam ser pensadas quando do estabelecimento das rotas reversas de materiais recicláveis, em especial do vidro, enquanto resíduo frágil e com baixa densidade aparente, comparativamente aos demais resíduos seletivos.

Mesmo caracterizando-se pela infinita possibilidade de reaproveitamento e conseqüente redução nos consumos de energia e matéria-prima virgem, a taxa de reciclagem de vidro no país é de 47% (BRASIL, 2018), um percentual estagnado desde 2007, enquanto

em alguns países europeus a taxa já ultrapassa 90% e a meta a ser atingida até 2025 em toda a Europa é de 70% (ACR+, 2012; FEVE, 2012; UNIÃO EUROPEIA, 2018).

Dentre os tipos de vidro, o plano laminado é conhecido por ser um vidro de segurança, empregado pela indústria automobilística na fabricação de para-brisas e pelo setor de construção civil na produção de portas, janelas e divisórias sem esquadrias. Mas em função da sua composição conter uma lâmina de polímero entre as placas vítreas, a reciclagem de para-brisas é ainda mais dificultada, não representando uma prática comum ou disseminada industrialmente, acarretando na sua disposição em aterros sanitários (VARELA, 2005; VARGAS; WIEBECK, 2007).

Estima-se uma produção de 6,2 milhões de m² de vidro plano laminado no país (ABRAVIDRO, 2018) e um descarte, pelas seguradoras, de mais de 5 mil t/mês de sucatas dessa tipologia de vidro, equivalentes a 60 mil t/ano. Desse montante, 8% é reciclado (AUTOGLASS, 2013).

Diante do subaproveitamento do vidro pós-consumo como questão central da pesquisa e admitindo a Região Carbonífera Catarinense como *locus* de análise, o presente estudo se insere na grande linha “Sociedade, Ambiente e Desenvolvimento” no âmbito do PPGCA e contempla a linha de pesquisa dedicada à valorização de resíduos sólidos.

Nesse ínterim, partindo de uma visão mais abrangente, problematizou-se a gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) nos municípios integrantes da Associação dos Municípios da Região Carbonífera (AMREC) com enfoque no potencial de geração e valorização de resíduos vítreos recolhidos pela coleta convencional e seletiva. Num segundo momento, mapeou-se e caracterizou-se de forma bastante detalhada a atuação dos agentes pertencentes à cadeia de reciclagem, tanto do vidro de embalagem quanto do plano.

Paralelamente, dedicou-se à análise técnica da viabilidade de reciclagem de um tipo de vidro em particular: o vidro plano laminado automotivo. O resíduo de vidro de para-brisas foi reaproveitado como substituto de matérias-primas virgens na fabricação de fritas e esmaltes cerâmicos, insumos típicos da indústria de revestimentos cerâmicos, um segmento bastante impactante sob a ótica ambiental e expressivo economicamente em nível regional.

Por fim, em face do grande diagnóstico ao qual se chegou e embasada nos princípios da economia circular, enquanto referência de mudança para a promoção de fluxos mais sustentáveis de produção e consumo e consequente reintegração ambiental, social e econômica dos resíduos sólidos, foram tecidas considerações e propostas alternativas de otimização dos canais reversos de resíduos vítreos no *locus* de estudo, admitindo a

importância da inclusão social e produtiva dos atores pertencentes à base da cadeia de reciclagem: as organizações de catadores.

O vidro é um dos melhores exemplos de aplicabilidade da economia circular, uma vez que é infinitamente reciclável e atende ao modelo de produção em circuito fechado. Compreende integralmente uma embalagem sustentável e o seu emprego se justifica uma vez que praticamente não há desperdício, pois as matérias-primas podem ser reaproveitadas continuamente (FEVE, 2018).

Portanto, teoricamente, tem-se o aprofundamento do conhecimento acerca da problemática em análise; e em termos práticos, são lançadas possibilidades que podem ser apropriadas pelos gestores públicos quando da revisão dos PMGIRS, otimização e reestruturação dos sistemas municipais de coleta seletiva e fortalecimento da recuperação dos resíduos vítreos; promovendo consequentemente a melhoria da qualidade socioambiental regional no tocante à gestão de RSU.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Geral

Estudar a cadeia da reciclagem de vidro no contexto da Região Carbonífera Catarinense e analisar a viabilidade da reciclagem de um tipo específico de vidro, o plano laminado automotivo, com aplicação na fabricação de insumos cerâmicos.

1.2.2 Específicos

1. Caracterizar o manejo de RSU com enfoque na coleta seletiva e no potencial de geração e valorização de vidro pós-consumo no âmbito da Região Carbonífera;
2. Identificar os atores da cadeia de reciclagem de resíduos vítreos e mapear o fluxo do vidro pós-consumo descartado pelos municípios da AMREC;
3. Levantar a quantidade descartada e as formas de destinação adotadas para o resíduo de vidro laminado automotivo na unidade de estudo;
4. Analisar a viabilidade técnica de reciclagem do vidro laminado automotivo como substituto de matéria-prima virgem na fabricação de fritas e esmaltes cerâmicos,
5. Apontar alternativas/caminhos para otimizar as vias de reciclagem de vidro na Região Carbonífera sob a perspectiva da economia circular.

1.3 ESTRUTURA DA TESE E QUESTÕES NORTEADORAS

A tese está estruturada em nove capítulos, seguindo a estrutura convencionalmente adotada em trabalhos científicos: introdução, fundamentação teórica, procedimentos metodológicos, apresentação dos resultados e discussão, considerações finais, referências e apêndices.

O “capítulo dois” dá conta do referencial teórico em consonância com o problema de pesquisa e com as derivações das principais palavras-chaves: economia circular, resíduos sólidos, vidro, vidro laminado automotivo, fabricação de insumos cerâmicos e cadeia de reciclagem de vidro. O “capítulo três” contextualiza os procedimentos metodológicos, partindo da caracterização da unidade de estudo. No subitem dedicado à coleta de dados, foram detalhados os procedimentos individualmente para cada objetivo específico, levando em consideração a inserção da pesquisa nas abordagens qualitativa e quantitativa.

Os resultados que contemplam a abordagem qualitativa – apresentados nos “capítulos quatro e cinco” – foram obtidos por meio de pesquisa bibliográfica, documental, eletrônica e de campo. Valeu-se dos planos de gestão de resíduos dos municípios integrantes da AMREC, de estatísticas publicadas pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), Compromisso Empresarial para a Reciclagem (CEMPRE) e pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), enquanto principais fontes de dados relativos ao manejo de RSU. Foram entrevistados 22 sujeitos de pesquisa, dentre os quais: doze técnicos atuantes em órgãos públicos municipais ligados à gestão de RSU e dez atores pertencentes aos diferentes estágios da cadeia de reciclagem de vidro com abrangência na Região Carbonífera.

Quanto à pesquisa quantitativa, apresentada no “capítulo seis”, a mesma foi realizada por meio de planejamento estatístico, simulando experimentalmente em laboratório a separação das camadas vítreas e polimérica do vidro de para-brisas, produzindo fritas e esmaltes cerâmicos a partir de matéria-prima secundária, e comparando o seu desempenho com amostras formuladas exclusivamente a partir de matéria-prima virgem encontrada no mercado.

O “capítulo sete” representa uma tentativa de reunir e relacionar os resultados obtidos nos capítulos anteriores; é onde efetivamente constam as principais contribuições do trabalho em termos de perspectivas para a região com base na economia circular e na realidade diagnosticada. O Quadro 1 apresenta as questões norteadoras, em função dos objetivos específicos e capítulos nos quais os resultados foram contextualizados.

Quadro 1 – Relação entre os objetivos específicos, questões norteadoras e capítulos onde se encontram.

Objetivo específico	Questões Norteadoras	Capítulo
1 Manejo de RSU, potencial de geração e valorização do vidro pós- consumo	Qual a situação da Região Carbonífera em relação ao cumprimento da PNRS, mais especificamente à aprovação do PMGIRS? Quais as formas de destinação de RSU adotadas pelos municípios da AMREC? Qual o cenário característico no tocante à coleta seletiva? Qual o potencial de vidro pós-consumo gerado na região? Há iniciativas de valorização desse material?	4
2 Cadeia de reciclagem de vidro	Qual o fluxo dos resíduos vítreos descartados na unidade de estudo? Quem são os integrantes da cadeia de reciclagem de vidro atuantes na região e qual o papel desempenhado por cada um deles? Quais os segmentos produtivos que absorvem ou reaproveitam o vidro pós-consumo descartado na Região Carbonífera?	5
3 e 4 Vidro laminado automotivo pós-consumo	Quais são os pontos de geração e descarte dos resíduos de vidro de para-brisas? Quais as formas preponderantes de destinação/disposição adotadas pelas fontes geradoras dessa tipologia de resíduo? É possível incorporá-lo na fabricação de fritas e esmaltes cerâmicos? As amostras fabricadas a partir de resíduos caracterizam-se pelo mesmo desempenho das amostras com matéria-prima virgem?	6
5 Prognóstico a partir da economia circular	Quais possibilidades ou modelos podem servir de referência para incrementar a valorização da fração vítrea descartada no âmbito da AMREC? Quais alternativas poderiam ser apontadas para otimizar os canais de reciclagem dos resíduos de vidro sob a perspectiva da economia circular na Região Carbonífera?	7

Fonte: Elaborado pela autora.

2 ENCAMINHAMENTO TEÓRICO CONCEITUAL

2.1 FLUXOS LINEARES X FLUXOS CIRCULARES

A lógica do modelo linear de produção e consumo, cuja origem reporta-se à Revolução Industrial, além de antiecológico é economicamente insustentável, uma vez que consome de forma perdulária e polui em alto grau. Diante da elevação do contingente populacional, da limitação dos recursos naturais, o Clube de Roma já alertava sobre a necessidade de limites para o crescimento e a iminência de um colapso planetário (MEADWOS, 1973).

Charles *et al* (2009) são autores de um artigo intitulado “Revisitando os limites do crescimento”, no qual ponderam que as projeções originais divulgadas pelo relatório Meadows em 1972, comparativamente aos dados atuais, estão em grande parte, precisas. O aumento dos níveis de consumo em conjunto com a exploração desenfreada dos sistemas naturais implica em impactos massivos e irreversíveis sobre o ambiente e na perda da qualidade de vida das populações. “Ao final, nem progresso, nem emprego, nem ambiente saudável” (DIAS, 2004, p. 11).

Sob a ótica da conjuntura econômica predominante, os sistemas ecológico e econômico funcionam isoladamente, de modo que o crescimento econômico caminha de encontro – no sentido de contrariedade – ao desenvolvimento sustentável (LEFF, 2001; MONTIBELLER-FILHO, 2008). Na opinião de Alves (2014), o crescimento econômico é o ópio da sociedade urbano-industrial; fundamental para a manutenção do capitalismo.

De um lado estão as necessidades humanas, infinitas e limitadas; e de outro, os recursos naturais, finitos e também limitados. Logo, é impossível que haja crescimento infinito em um Planeta com recursos finitos. Aparentemente, o modelo linear fornece produtos acessíveis, além de prosperidade material a bilhões de pessoas. No entanto, a sua lógica, inviável a longo prazo, degrada o ambiente e aumenta o fosso entre os ricos e os pobres (CAVALCANTI, 2004; MONTIBELLER-FILHO, 2008; ALVES, 2014; EIJK; JOUSTRA, 2017).

O sistema econômico vigente caracteriza-se pela produtividade acelerada em larga escala e conseqüente acumulação de capital e se estabelece tão somente em detrimento da qualidade socioambiental, tendo em vista o risco de esgotamento dos recursos naturais e o agravamento das disparidades sociais (CAVALCANTI, 2004; MONTIBELLER-FILHO, 2008).

A economia praticada a partir da livre externalização dos custos ambientais e da elevação das desigualdades socioeconômicas deriva de uma concepção extremamente mecanicista e reducionista que ignora os problemas humanos na sua essência e a relação indissociável que há entre a pobreza e a degradação ambiental (MORIN, 1995; LEFF, 2001; DALY, 2004; SACHS, 2007).

Há uma série de modelos, abordagens, correntes ou instrumentos de gestão ambiental precursores da economia circular, largamente difundidos; todos calcados no paradigma do ecodesenvolvimento ou do desenvolvimento sustentável – cujo conceito foi popularizado pelo Relatório Brundtland em 1988 (CMMAD, 1988) – como caminho para a superação da dicotomia entre desenvolvimento econômico e conservação ambiental e promotores de uma mudança na lógica produtiva essencialmente mecanicista, perdulária e extrativista. Podem ser citados dentre as abordagens popularmente mais conhecidas: a Produção Mais Limpa (PML), a ecoeficiência e a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).

A PML tem como marco a década de 1980 e compreende uma estratégia ambiental preventiva que pode ser aplicada a processos, produtos e serviços com o objetivo de minimizar os impactos ambientais e reduzir riscos para os seres humanos e para o ambiente em curto e longo prazo. Tem como níveis de intervenção a minimização dos resíduos e emissões por meio da redução na fonte geradora e da reciclagem interna e a reutilização, através da reciclagem externa. Inclui como premissas a participação popular na tomada de decisões políticas e econômicas e uma abordagem integrada e holística (BARBIERI, 2006; GASI; FERREIRA, 2006; NASCIMENTO; LEMOS; MELO, 2008).

Comparativamente, a ecoeficiência é uma abordagem mais recente, introduzida em 1992. Baseia-se na entrega de produtos ou serviços com preços competitivos que satisfaçam as necessidades humanas a partir de processos produtivos que consigam reduzir gradativamente os impactos ecológicos e a intensidade de uso dos recursos naturais. Leva em consideração, essencialmente, a durabilidade dos produtos ao longo do ciclo de vida e do mesmo modo que a PML, a possibilidade de reciclagem interna e externa (BARBIERI, 2006; GASI; FERREIRA, 2006).

A ACV, regulamentada pelas séries ISO 14.040 e 14.044, pode ser considerada uma técnica desenvolvida para avaliar, sobretudo, quantitativamente o desempenho ambiental de um produto ao longo de todas as fases do seu ciclo de vida. Trata-se de uma metodologia cujo foco se atém a função do produto e a avaliação dos impactos ambientais decorrentes de sua produção. Apesar de algumas limitações, seu uso tem se difundido ao longo dos anos, na tomada de decisão acerca do emprego de produtos viáveis econômica e ambientalmente,

mesmo porquanto, compreenda uma das únicas ferramentas capazes de, a partir de uma visão sistêmica, identificar os impactos ambientais, avaliá-los e quantificá-los.

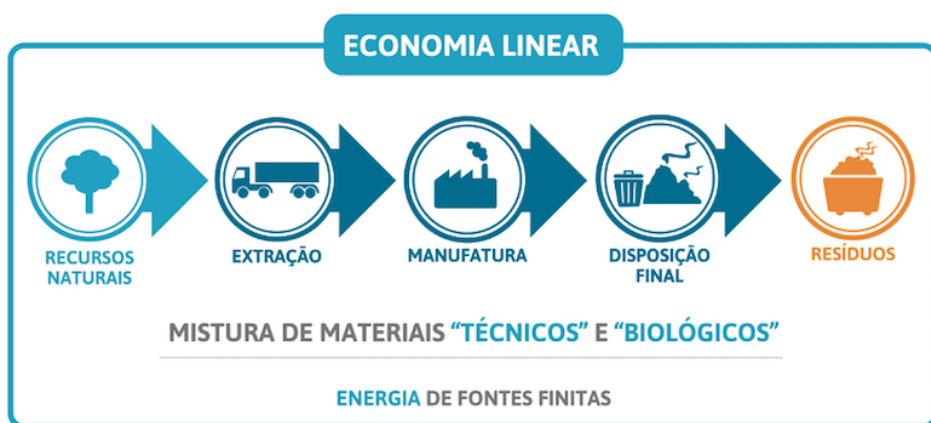
2.1.1 A Economia Circular

Como um contraponto ao modelo econômico linear de produção, consumo e descarte, o conceito de economia circular emergiu ainda na década de 1970. De todo modo, ganhou visibilidade mundial em 2012, a partir do primeiro de uma série de relatórios publicados pela Fundação Ellen MacArthur. De modo geral, as discussões sobre o tema são recentes, especialmente no Brasil (AZEVEDO, 2015; GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016; CNI, 2018).

A Fundação Ellen MacArthur foi criada em 2010 com o objetivo de inserir a economia circular nas agendas dos principais tomadores de decisão, incluindo empresas, governos e a academia e compreende umas das principais lideranças globais, tendo em vista a necessidade de transição de um modelo econômico linear para uma dinâmica circular dos fluxos produtivos (EMF, 2018).

Tal conceito prega uma mudança mais profunda e duradoura que vai além do paradigma de “reduzir, reaproveitar e reciclar” ou do modelo linear pautado no princípio simplista de “extrair, transformar e descartar”, que preconiza prioritariamente a disposição de resíduos e não o seu reaproveitamento, conforme ilustra a Figura 1.

Figura 1 – Dinâmica do modelo linear.



Fonte: (LUZ; ECHEVENGUA, 2015).

A economia circular é dita restaurativa ou regenerativa cujo objetivo é manter produtos, componentes e materiais em seu mais alto nível de utilidade pelo máximo de tempo possível (LETT, 2014; AZEVEDO, 2015; EMF, 2018). Tem como premissa reutilizar o que

for possível, reciclar aquilo que não pode ser reutilizado, reparar o que está danificado e remanufaturar o que não pode ser reparado (ARAÚJO; QUEIROZ, 2017).

Nesse sentido, de acordo com Ghisellini, Cialani e Ulgiati (2016), a economia circular compreende um conceito originário de diferentes escolas de pensamento, introduzido primariamente pelos economistas ambientais Pearce e Turner, baseados nos estudos anteriores do economista ecológico Boulding, cuja publicação é de 1966. Admite-se que a economia circular está enraizada na Teoria Geral dos Sistemas e, principalmente, na Ecologia Industrial.

De acordo com essa abordagem, o funcionamento de um ecossistema industrial é análogo ao ecossistema biológico. Caracteriza-se por um consumo altamente otimizado de energia e material e mínima geração de poluição, com a finalidade de aumentar a eficiência dos recursos através do material circulante. Essa é a ideia-chave dos fluxos circulares: perdas mínimas de matéria-prima e energia através da reciclagem, reutilização e reaproveitamento (HAUPT; VADENBO; HELLWEG, 2017).

A ecologia industrial tem como premissa básica a existência de um grande sistema, a biosfera, onde se efetivam as atividades dos ecossistemas naturais e dos sistemas industriais, que não podem ser analisadas de forma isolada do mundo como um todo. A estratégia de “eco-reestruturação” do sistema industrial está atrelada a quatro elementos principais: otimização do uso de recursos; fechamento de ciclos de materiais e minimização de emissões; desmaterialização das atividades (produção de materiais mais leves, substituição de matérias-primas); e redução e eliminação da dependência de fontes não renováveis (ERKMAN; FRANCIS; RAMASWAMY, 2001).

Strauch e Albuquerque (2008) se referem à economia circular como um novo paradigma econômico e social, concebido a longo prazo por meio de práticas efetivamente sustentáveis. O fluxo de materiais precisa estar ajustado às condições de vida da Terra e, por consequência, deve obedecer a uma dinâmica circular, compatibilizando a velocidade dos ciclos naturais e antrópicos.

Logo, a economia circular não se trata de uma teoria nova, pois na sua gênese estão abordagens mais complexas com enfoque nos processos e produtos, tais como avaliação do ciclo de vida, ecoeficiência, ecodesign e, sobretudo, na ecologia industrial e não exclusivamente em modificações nos processos, como é típico da produção mais limpa (RIBEIRO; KRUGLIANSKAS, 2014).

É preciso mudar o foco da gestão de resíduos para a gestão dos materiais e ciclos de produtos. Assim, a circularidade da economia implica em agentes responsáveis com a

durabilidade dos seus produtos e com o menor uso possível de recursos naturais (STRAUCH; ALBQUERQUE, 2008).

Logo, a economia circular está atrelada à criação de produtos de ciclos múltiplos de uso e dessa forma, contribui para redução da dependência de recursos e do desperdício. Os produtos são fabricados para circular de forma eficiente, gerando fluxos de receita. Quanto aos princípios da economia circular, cita-se: criação de modelos de negócios que agreguem valor ao produto manufaturado; criação de produtos com múltiplas utilidades; desenvolvimento de uma logística reversa mantenedora da qualidade do produto; articulação dos atores dentro e entre as cadeias de suprimentos (AZEVEDO, 2015; SHIETEKATTE; BAKKER, 2017).

Em linhas gerais, uma estratégia de implementação bem sucedida da economia circular requer uma visão abrangente e combinada entre três aspectos: evitar a escassez de recursos, minimizar a geração de resíduos e sustentar a geração de benefícios econômicos (TESTA *et al*, 2017).

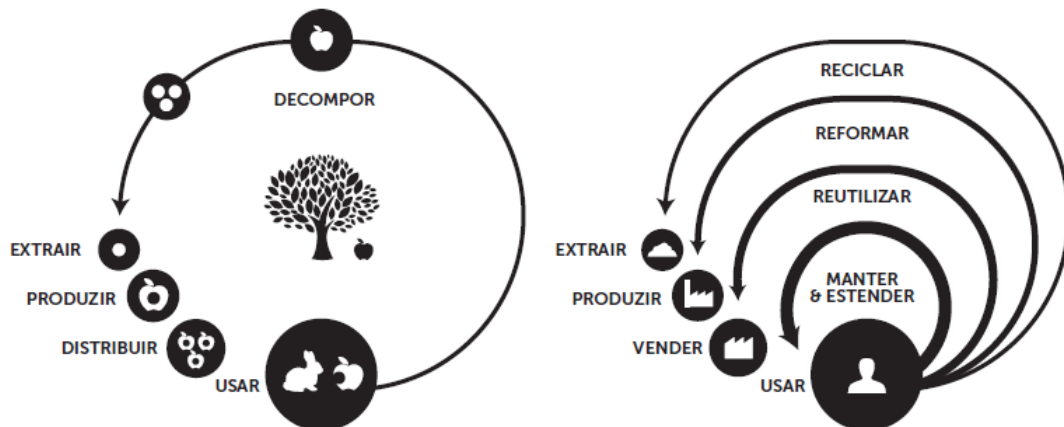
Lett (2014) entende que é um novo paradigma e faz menção a uma nova modalidade de fabricação de produtos, considerando a sua origem e o seu design, com a intenção de agregar valor e inserir esse material descartado no cenário econômico como um bem potencialmente passível de reutilização ou reciclagem.

Azevedo (2015) esclarece ainda, que há uma divisão em relação aos grupos de materiais considerados pela economia circular: os biológicos, que devem ser desenhados para serem reinseridos na natureza; e os técnicos, que requerem investimentos em ciência, tecnologia e inovação, para que seu desmonte e recuperação sejam possíveis e viáveis. Essa corrente é bastante ambiciosa no sentido de prever que tanto os nutrientes biológicos quanto os insumos técnicos não sejam apenas reciclados, mas revalorizados ao longo de todo o seu ciclo (ABRAMOVAY, 2015).

O descarte biológico deve ser reincorporado nos ciclos biogeoquímicos, ao passo que os tecnológicos devem ser projetados para circular sucessivamente, evitando a disposição em aterros (EMF, 2012). A Figura 2 ilustra a dinâmica característica da economia circular, que deve ser pensada para ambas as vertentes.

Gabriela-Cornelia, Iudith e Alexandru (2015) ressaltam que a transição de um modelo linear para um circular passa necessariamente pela concessão de investimentos e financiamentos. Lett (2014) pondera que para alcançar a eficiência na reciclagem, na reutilização e na valorização de resíduos é preciso de motivação, conhecimento e inovação.

Figura 2 – Dinâmica da economia circular: materiais biológicos e técnicos.



Fonte: (EIJK; JOUSTRA, 2017, p. 16).

Igualmente, Franklin-Johnson, Figge e Canning (2016) salientam que a economia circular tem atraído interesse governamental e institucional em todo o mundo. A questão-chave diz respeito ao modo como as ações corporativas podem ser gerenciadas e, sobretudo, quais indicadores podem ser considerados para avaliar a sua evolução. Normalmente, os indicadores utilizados compõem uma tríade e envolvem aspectos econômicos, ambientais e sociais. As práticas atuais devem concentrar-se na longevidade dos materiais e produtos e não somente na redução dos impactos negativos.

Na atualidade, o enfoque da economia circular é considerado por diversos países e empresas. A China e os países europeus são citados por alguns autores (AZEVEDO, 2015; GABRIELA-CORNELIA; IUDITH; ALEXANDRU, 2015; GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016; ARAÚJO; QUEIROZ, 2017) como *locus* de investigação e tentativa de implementação dessa nova corrente econômica.

De modo geral, compreende um assunto novo em relação às demais abordagens de sustentabilidade, com predomínio de pesquisas bibliográficas caracterizadas por uma discussão ainda no campo teórico e conceitual e na necessidade de viabilizar esforços para implementá-la em termos práticos, principalmente no desenvolvimento de indicadores que deem conta da sua complexidade.

Sobre a predominância de pesquisas teóricas acerca desse tema, Haupt, Vadenbo e Hellweg (2017) problematizam sobre os indicadores de desempenho a serem adotados. Os autores concluem que os parâmetros atualmente utilizados, como a taxa de coleta ou de reciclagem, não dão conta de retratar a realidade e o potencial de mudança por meio da economia circular. É preciso conhecer a totalidade de insumos secundários descartados e absorvidos pelos processos produtivos e tornar a reciclagem mais eficiente em termos de

redução de contaminantes, com a finalidade de agregar mais valor ao produto e alimentar adequadamente os canais reversos.

A China, considerada uma grande potência econômica mundial, é uma das principais lideranças na condução de ações voltadas para a economia circular, certamente, por uma postura reativa às consequências econômicas dos problemas socioambientais que ocorrem em maior escala, dentre os quais, a escassez de recursos naturais. O governo estimula a mudança de atitudes através de redes de crédito, concessão de benefícios fiscais, rede de investidores e políticas transparentes junto aos consumidores (AZEVEDO, 2015).

Do mesmo modo, Ghisellini, Cialani e Ulgiati (2016) afirmam que muitos estudos de caso têm sido publicados em todo o mundo e grande parte dessas pesquisas têm relatado experiências de economia circular na China, justificados, segundo as autoras, pela dinâmica econômica chinesa caracterizada pela produção contínua e em larga escala.

Igualmente, a Europa tem caminhado a passos largos na implementação da economia circular em matéria de resíduos. Via legislação, os estados-membros são obrigados a adotar medidas específicas que priorizem práticas de destinação em detrimento da disposição e do tratamento via incineração. As regras adotadas coadunam com a legislação mais moderna e rigorosa na área de resíduos. Recomenda-se que até 2025, 55% dos resíduos descartados pelos estados-membros europeus sejam reciclados; e até 2035, que esse percentual se eleve para 65%. Notadamente, em alguns deles, esses percentuais já foram alcançados (COMISSÃO EUROPEIA, 2018).

Nelles, Grunes e Morscheck (2016) realizaram um estudo de caso na Alemanha e questionaram, em relação à gestão de resíduos sólidos, se os caminhos apontam para o desenvolvimento de uma economia circular sustentável. Segundo os autores, a Alemanha teve uma boa gestão nos últimos 40 anos, entretanto, ainda há alguns problemas.

Os custos com o tratamento dos resíduos variam muito e há entraves significativos entre os municípios e as companhias privadas de gerenciamento na Alemanha. O tratamento térmico via incineração é uma prática comum, de acordo com os autores. No entanto, os benefícios ecológicos seriam maiores caso os resíduos fossem reciclados (NELLES; GRUNES; MORSCHECK, 2016).

Na Holanda, cuja taxa de reciclagem alcança 80%, a economia circular já é percebida na prática. O governo holandês colocou o assunto na agenda europeia em 2016 e tem como objetivo promovê-la integralmente até 2050 (SCHIETTEKATTE; BAKKER, 2017).

No Brasil e na América Latina de modo geral, que representam grandes fornecedores mundiais de matérias-primas, faz-se urgente repensar e praticar uma economia diferente

daquela que os tornam dependentes de produtos primários e que os conduzam para uma mudança de cenário, profundamente necessária (ABRAMOVAY, 2015).

2.2 RESÍDUOS SÓLIDOS

A geração de resíduos, seja qual for a origem, é uma prática milenar, inevitável e inexorável. No entanto, tomou proporções alarmantes e vem ganhando cada vez mais notoriedade no cenário mundial, por conta da geração exacerbada e, sobretudo, pela grande diversidade dos constituintes presentes nas sobras ou restos descartados pelas aglomerações humanas (GONÇALVES, 2003; NAIME, 2005).

O problema do lixo e a crise socioambiental não são fatos isolados, já que suas implicações são percebidas em todo o mundo (CONCEIÇÃO, 2005). De todo modo, o problema do lixo se agravou a partir do momento em que os homens decidiram se fixar nas cidades. Até o advento da industrialização, os resíduos eram compostos basicamente por matéria orgânica; Atualmente, no entanto, a sua composição inclui materiais tóxicos, com riscos potenciais cada vez maiores para a saúde humana e para os ecossistemas (DEMAJOROVIC; LIMA, 2013).

O estilo de vida dos primórdios da humanidade caracterizava-se pela mobilidade constante e por hábitos coletores e/ou caçadores, admitindo comunidades nômades com um número bastante reduzido de indivíduos. Por consequência, os resíduos produzidos eram essencialmente orgânicos, compostados naturalmente pela ação do tempo sem comprometer a capacidade autodepurativa dos ecossistemas, tampouco causar alterações significativas e duradouras sobre o meio (PALERMO; GOMES, 2017).

Nas últimas décadas, “[...] o Brasil mudou seu tipo de lixo em quantidade e qualidade, em volume e composição, estando muito diferente daquele que se produzia há quarenta anos”. O produto descartável começou a tomar conta do mercado, atendendo às necessidades do curto ciclo de consumo capitalista (PINHEL, 2013, p. 18).

No que diz respeito à causa de tal problemática e sob a ótica de uma visão mais abrangente, a geração de lixo reflete o modo como o homem enxerga o ambiente e o grau de aceite ou recusa dos padrões preponderantes de produção e consumo, profundamente arraigados ao *modus operandi* da sociedade moderna (STRAUCH; ALBUQUERQUE, 2008).

Para Conceição (2005), o problema não é propriamente a incompatibilidade entre o crescimento econômico global e as questões ambientais ou a geração de lixo, como um dos seus eixos mais emblemáticos mas o modo inadequado através do qual a tecnologia é

empregada para produzir mercadorias. O desenvolvimento tecnológico gera uma melhora na qualidade de vida da humanidade – em termos econômicos, já que o crescimento econômico se dá a partir de degradação socioambiental (MONTIBELLER-FILHO, 2008) – e, por consequência, da elevação dos níveis de consumo por uma população que também se eleva vertiginosamente.

Sob o ponto de vista histórico ocorreram grandes revoluções – ou saltos tecnológicos-evolutivos – que culminaram com intensos momentos de transição motivados por um advento ou descoberta tecnológica e consequente mudança de comportamento. A Revolução Industrial foi uma das grandes revoluções ou saltos evolutivos. Houve uma massificação da produção de bens e a consolidação de um modelo econômico em franca ascensão: o capitalismo, cuja sobrevivência e manutenção estão atreladas ao fenômeno da obsolescência planejada ou programada (PALERMO; GOMES, 2017).

Strauch e Albuquerque (2008) não se referem ao lixo como um problema em si, mas como sintoma de um problema maior, que é o modo equivocado com que o homem faz uso dos recursos naturais. Nesse sentido, é pertinente destacar, em relação a sua gênese, a influência exercida pela globalização tecnológica no fomento de uma sociedade que não está culturalmente sensibilizada para bloquear os apelos dos meios de comunicação.

Demajorovic e Lima (2013) problematizam o fato de que embora sejam necessárias novas alternativas de destinação do lixo, a visão da sociedade sobre os seus rejeitos pouco se alterou ao longo dos anos. Compreende uma visão predominantemente reducionista e limitada, que ignora a importância das práticas de redução e valorização e estimula o crescimento acelerado do volume de lixo, que muitas vezes é encaminhado para vias inadequadas de disposição final.

Os depósitos de resíduos a céu aberto ou mesmo os aterros controlados representam formas de deposição desordenadas, sem compactação ou recobrimento dos resíduos, promovendo a poluição da água, do solo e do ar, além da proliferação de vetores (ZANTA; FRREIRA, 2003). Os lixões representam uma ameaça à saúde pública, pois veiculam a proliferação de doenças como tifo, peste, leptospirose, febre tifoide, verminoses, gastroenterite, dengue, malária, dentre inúmeras outras, além da contaminação do solo pelo chorume, e do ar, pelo metano (CONCEIÇÃO, 2005).

Os danos decorrentes do manejo inadequado do lixo se estendem para além da esfera ambiental, isto é, para além da contaminação do solo, das águas superficiais, subterrâneas ou da desconfiguração da paisagem, perceptíveis, principalmente, em áreas de disposição final e em países em desenvolvimento. A presença de compostos químicos na massa de resíduos e a

interação entre seus subprodutos podem alcançar águas superficiais e subterrâneas, comprometendo a saúde humana e a integridade do meio em escala local ou regional (MONTEIRO *et al*, 2001; BARROS, 2012).

Pondera-se que a dinâmica de causa e efeito da problemática ambiental como um todo não se resume somente à compartimentação das esferas água, solo e ar. A questão do lixo está imbricada a aspectos políticos, sociais e econômicos. O manejo de resíduos sólidos é um indicador de saneamento básico e reflete questões ligadas à saúde pública (ROTH; ISAIA; ISAIA, 1999; JARDIM *et al*, 2000; PHILIPPI Jr.; AGUIAR, 2005; BARROS, 2012).

Admitindo a profunda disparidade social característica da população brasileira – 50 milhões de brasileiros vivem na linha de pobreza, correspondente a 25,4% da população (IBGE apud AGÊNCIA BRASIL, 2017) – e o fato de que comunidades menos abastadas ocupam áreas urbanas de maior vulnerabilidade, carentes parcial ou totalmente de saneamento básico, o manejo inadequado está relacionado ao comprometimento da saúde dessas populações, mais suscetíveis à proliferação de vetores e agentes portadores de doenças veiculadas pelo lixo.

Nesse sentido, lixões como alternativa de disposição final compreendem áreas profundamente impactadas sob o ponto de vista ambiental. Entretanto, concomitantemente, representam a fonte de renda de muitas famílias que sobrevivem – ou sobreviveram – da catação informal e que certamente requerem assistência médica pelos agravos decorrentes das condições insalubres de trabalho (ROTH; ISAIA; ISAIA, 1999).

Aliás, o lixo representa o material de trabalho de uma classe bastante representativa no país, que cresce cada dia mais em função da instabilidade econômica. No entanto, compreende uma categoria estigmatizada e pouco reconhecida pela sociedade.

Embora os aterros sanitários representem a alternativa mais adequada e mais utilizada para disposição de resíduos em todo o mundo (DEMAJOROVIC; LIMA, 2013), notadamente, os dados trazidos pela ABRELPE e pelo SNIS demonstram que os lixões ainda se fazem presentes em nosso país, assim como a população que dele depende, direta e indiretamente.

A predominância dessas formas de disposição reflete a inexistência ou a inadequação dos planos de GRSU e pode ser explicada por fatores como: falta de capacitação, baixa dotação orçamentária, pouca conscientização da população, ausência de uma estrutura organizacional, entre tantas outras (ZANTA; FERREIRA, 2003).

2.2.1 Definições e classificações

Há uma série de conceitos para resíduos sólidos, assim como formas distintas de classificá-los ou caracterizá-los. De modo geral, compreendem subprodutos ou matérias-primas secundárias derivadas das atividades humanas que podem ser aproveitados de diferentes formas, parcial ou totalmente, gerando ganhos ambientais, sociais e econômicas.

As palavras lixo e resíduo, de acordo com a maioria das fontes consultadas, podem ser tratadas como sinônimos. Kligerman (2000) acredita que a evolução conceitual se deu a partir da tomada de consciência acerca da problemática que representa a geração e a disposição inadequada e Conceição (2005) entende que as diferenças conceituais podem variar conforme a época e o lugar.

Consoni, Peres e Castro (2000) definem resíduos como restos inúteis, indesejáveis ou descartáveis. Martinho e Gonçalves (2000) os descrevem como substâncias ou objetos cujo detentor deseja desfazer-se. Monteiro *et al* (2001) os considera parte ou totalidade de um bem sem utilidade e cujo gerador deseja livrar-se. De todo modo, destaca-se se tratarem na sua maioria de conceitos que não reconhecem, ainda que implicitamente, o valor desses materiais enquanto matérias-primas secundárias ou subprodutos.

Por outro lado, Lima (2001), assim como Naime (2005), entende que são materiais heterogêneos passíveis de serem reutilizados ou reciclados. Barros (2012) relaciona claramente resíduo à possibilidade de tratamento e valorização em detrimento de políticas reducionistas que estimulam tão somente a disposição final.

Em relação à definição legal e usualmente adotada em documentos técnicos e científicos sobre resíduos sólidos, entende-se que são materiais que podem ser valorizados, reintegrados econômica, ambiental e socialmente ao ambiente, logo, dotados de valor comercial e cuja destinação é em geral, a reciclagem ou a compostagem. Ao rejeito, em contrapartida, por conta da sua inutilidade, cabe somente o encaminhamento para vias finais de disposição, em geral, aterros ambientalmente seguros (BRASIL, 2010; BARROS, 2012).

Parte da definição atribuída pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NBR 10.004, 2004) está presente na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (BRASIL, 2010). Entende-se que são materiais, substâncias, objetos ou bens descartados, nos estados sólido ou semissólido, provenientes das atividades humanas de origem industrial, doméstica, comercial, agrícola, de serviços de saúde e de varrição.

Os resíduos podem ser classificados mais comumente quanto às fontes que os produzem (doméstico, comercial, público, serviços de saúde, etc.), em relação à composição

gravimétrica (papel, vidro, plástico, etc.) ou química (orgânica e inorgânica) ou, ainda, segundo o grau de degradabilidade (MARTINHO; GONÇALVES, 2000; NAIME, 2005; CONCEIÇÃO, 2005; BARROS, 2012). Sob o ponto de vista econômico, podem ser aproveitáveis, inaproveitáveis ou recuperáveis. E quanto à possibilidade de reagir quimicamente, são classificados em inertes, reativos ou orgânicos (BARROS, 2012).

A classificação mais empregada, de acordo com a norma técnica (ABNT NBR 10.004, 2004), leva em conta os riscos potenciais à saúde pública e ao meio ambiente (inflamabilidade, corrosividade, toxicidade, reatividade e/ou patogenicidade) e os separa em duas classes conforme a periculosidade: Classe I (perigosos) e Classe II (não perigosos), admitindo que os resíduos não perigosos podem enquadrar-se na Classe II A (não perigosos, não inertes) ou Classe II B (não perigosos, inertes).

Além dos resíduos de origem doméstica, comercial (em pequenas quantidades) e público, cujo manejo compete ao poder público municipal, há os resíduos gerados por fontes “domiciliares especiais” (entulhos, pilhas, lâmpadas, pneus, etc.) e por fontes ditas somente “especiais” (industriais, de serviços de saúde, portos, etc.), para os quais a gestão cabe aos respectivos geradores (MONTEIRO *et al*, 2001; BRASIL, 2010). Resíduos de origem domiciliar e provenientes da limpeza urbana (público) compõem o grupo dos RSU (BRASIL, 2010).

2.2.2 Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)

A gestão de resíduos sólidos em âmbito municipal é um desafio a ser enfrentado pelos gestores públicos, seja nas grandes cidades, onde a geração é mais acentuada e diversa, seja nas localidades de pequeno e médio porte com carência de recursos técnicos, financeiros e operacionais (LIMA, 2001).

A geração e diversificação da massa de resíduos nos centros urbanos são fortemente influenciadas pelas condições culturais, econômicas e por outros tantos fatores como clima, gênero, faixa etária e poder aquisitivo dos grupos populacionais (MONTEIRO *et al*, 2001; NAIME, 2005).

Logicamente, há uma tendência de crescimento do contingente populacional e da produção de lixo nas cidades, admitindo, sobretudo, que 85% da população brasileira se concentra em meio urbano (IBGE, 2015). Monteiro *et al* (2001) apresentam as faixas usuais de geração *per capita* em relação à população urbana (Tabela 1).

Tabela 1 – Faixas mais utilizadas de geração *per capita* (kg/hab./dia).

Tamanho da cidade	População urbana (habitantes)	Geração <i>per capita</i> (kg/hab./dia)
Pequena	Até 30 mil	0,50
Média	De 30 mil a 500 mil	De 0,50 a 0,80
Grande	De 500 mil a 5 milhões	De 0,80 a 1,00
Megalópole	Acima de 5 milhões	Acima de 1,00

Fonte: (MONTEIRO *et al.*, 2001, p. 34).

Conceição (2005) acredita que a ausência ou a ineficiência de programas de coleta seletiva nos municípios brasileiros, assim como a presença de lixões ativos ou a serem recuperados, é uma evidência de que, embora se saiba sobre os desmembramentos da crise socioambiental, do problema que representa o lixo e da pressão exercida pelos diversos setores da sociedade, o poder público ainda lida de forma amadora e fragmentada, como se o manejo inadequado de resíduos fosse uma perturbação momentânea.

Pereira Neto (1999), Jardim *et al.* (2000) e Zanta e Ferreira (2003) – embora representem referências consideravelmente remotas, admitindo, inclusive, que as suas observações são anteriores à PNRS – descrevem razões perfeitamente condizentes com o cenário atual da gestão de resíduos sólidos no país. O manejo inadequado e as diversas implicações decorrentes se devem às limitações financeiras, à descontinuidade política, bem como, à falta de conscientização dos governantes em priorizar as ações voltadas para o lixo urbano e a consequente elaboração de projetos inexecutáveis e incompatíveis com a realidade socioeconômica de cada município.

Tais modelos de gestão, teoricamente, atingem os seus objetivos a partir do momento em que quantidades mais significativas de resíduos são efetivamente valorizadas; e em contrapartida, tem-se um descarte menos acentuado de rejeitos encaminhados para os aterros sanitários. Além do aspecto técnico e operacional, os sistemas de gestão devem atentar para a função social embutida nas suas ações, atrelada às parcerias estabelecidas entre o poder público e as associações e cooperativas de reciclagem.

Conceitualmente, a palavra “gestão” se refere à tomada de decisão em nível estratégico, enquanto o “gerenciamento” de resíduos sólidos, propriamente dito, visa à operacionalização do sistema de limpeza urbana através de uma série de etapas (LIMA, 2001; ZANTA; FERREIRA, 2003).

Os serviços de coleta, transporte, tratamento e disposição final dos resíduos de origem domiciliar, comercial e público são competências de um setor específico de limpeza urbana nas prefeituras (LIMA, 2001). Desse modo, o gerenciamento integrado compreende as operações de recolhimento, transporte, armazenamento, tratamento, valorização e eliminação

dos resíduos (MARTINHO; GONÇALVES, 2000). Presume-se, pelo adjetivo “integrado”, que esses sistemas devem ser articulados com os sistemas de saneamento ambiental e que contem com a participação ativa e cooperativa do poder público, da iniciativa privada e da sociedade civil organizada (ZANTA; FRREIRA, 2003).

2.2.3 A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e os Planos de Gestão Integrada

A PNRS foi instituída em 2010 e condicionou a concessão de recursos, incentivos ou financiamentos por parte da União aos municípios mediante elaboração de um documento, o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS). São priorizados no acesso dos recursos aqueles que optam por soluções consorciadas e que fomentam a coleta seletiva em articulação com cooperativas ou outras formas de associação de catadores (BRASIL, 2010).

Segundo a Lei, o gerenciamento de resíduos sólidos caracteriza-se por um conjunto de ações voltadas à coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos, com a finalidade de encontrar soluções para tal problemática, as quais considerem as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, sob a premissa do desenvolvimento sustentável (BRASIL, 2010).

No conteúdo do PMGIRS devem constar, basicamente, os seguintes itens: diagnóstico da situação dos resíduos gerados no município; identificação de áreas favoráveis para a disposição final e da possibilidade de execução de soluções consorciadas; procedimentos operacionais; indicadores de desempenho operacional e ambiental dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos; programas e ações de capacitação técnica e de educação ambiental; metas de redução, reciclagem, coleta seletiva e afins (BRASIL, 2010).

Dentre os prazos previstos pela Lei, estabeleceu-se agosto de 2012 para elaboração de tais documentos por parte dos entes federados. No que se refere à periodicidade de revisão dos planos, deve-se obedecer à vigência dos planos plurianuais municipais, que é de quatro anos. Além desses prazos, a Lei determinou que os municípios fechassem os lixões ativos e os recuperassem num horizonte de quatro anos a partir de sua deliberação – tendo, portanto, o ano de 2014 como marco para cumprimento desse requisito – procedendo com a disposição final ambientalmente adequada por meio de aterros sanitários.

O diagnóstico do cenário municipal em relação à gestão de resíduos inclui, sobretudo, conhecer a origem, o volume e os tipos de resíduos descartados, com vistas à

otimização do sistema de coleta seletiva e, conseqüentemente, incrementar o percentual de resíduos valorizados, reduzindo a quantidade encaminhada para vias de disposição final ao longo dos anos.

Nesse sentido, a viabilidade ambiental e econômica de um sistema de coleta seletiva depende do volume e da composição física – ou gravimétrica – da massa de recicláveis gerada em cada município. Tal indicador refere-se ao percentual de cada componente em relação ao peso total da amostra de lixo analisada (PEREIRA NETO, 1999; JARDIM *et al*, 2000; ZANTA FERREIRA, 2003).

Logo, a coleta seletiva deve ser exercida pelas prefeituras em articulação com entidades civis igualmente executoras, com frequência compatível com o potencial gerador de resíduos recicláveis nos municípios. Conforme preconiza a PNRS, o diagnóstico quantitativo da geração de lixo é condição *sine qua non* para o máximo reaproveitamento da fração potencialmente reciclável presente na massa de RSU (PEREIRA NETO, 1999; JARDIM *et al*, 2000; ZANTA FERREIRA, 2003).

2.2.4 A reciclagem como alternativa de destinação

Na medida em que a geração de resíduos sólidos foi reconhecida como um problema em termos de planejamento urbano e gestão pública, a atividade da reciclagem vem se estruturando como um setor econômico de relativa importância no cenário mundial. Compõe-se de um conjunto de ações interligadas com o propósito de reintrodução dos materiais potencialmente recicláveis nos processos produtivos, transformando-os novamente em insumos ou matérias-primas secundárias (SILVA, 2017).

Nesse sentido, a valorização dos RSU por meio da reciclagem é uma alternativa social e econômica à geração e concentração de lixo nos meios urbanos, que permite a recuperação dos constituintes encontrados na massa de lixo (MONTEIRO *et al*, 2001; CONCEIÇÃO, 2005). Quanto aos principais benefícios, citam-se a economia de matérias-primas e de energia nos processos produtivos e o aumento da vida útil dos aterros sanitários (MONTEIRO *et al*, 2001).

A reciclagem evita uma série de externalidades negativas próprias dos processos produtivos, dentre as quais: a perda de recursos naturais e da biodiversidade; danos ao ciclo hidrológico; prejuízos sobre a saúde ocupacional e danos à saúde humana oriundos das emissões atmosféricas; e redução no consumo de energia. Logo, tal prática possibilita um duplo efeito de redução dos impactos ambientais: contribui para a melhoria da qualidade

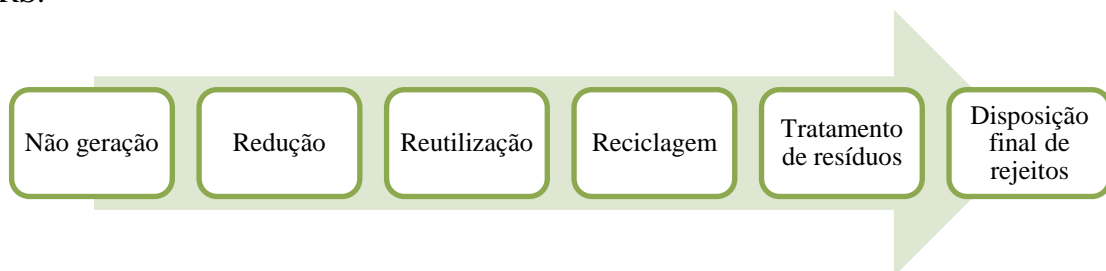
socioambiental urbana; e reduz as pressões sobre os ecossistemas de onde provêm os insumos primários (DAMÁSIO, 2010; SILVA; GOES; ALVAREZ, 2013).

Destaca-se, de acordo com a PNRS (BRASIL, 2010), tratar-se de um processo que provoca a modificação ou alteração biológica, físico-química das propriedades do material, originando um novo insumo ou produto, dito então, reciclado. A reutilização de um resíduo, diferentemente, implica no seu reaproveitamento sem que haja alteração de suas características biológicas ou físico-químicas.

A reciclagem compreende uma atividade integrante de um sistema de gestão de resíduos sólidos, que remete às etapas de recuperação de resíduos e sua utilização como insumo secundário na manufatura de novos produtos. Para tanto, é precedida pela coleta seletiva, triagem, limpeza, prensagem ou enfardamento, culminando com a logística de transporte e o processamento industrial (VILHENA; D'ALMEIDA, 2018; SANTOS *et al*, 2011).

Diante do exposto, constata-se que uma das principais contribuições trazidas pela PNRS, que não configura algo novo, mas que demarca legalmente a sua importância diante do engajamento cooperativo de todos os setores da sociedade, diz respeito à hierarquia de ações na gestão de resíduos sólidos. A Figura 3 ilustra as ações prioritárias em conformidade com o expresso pela PNRS.

Figura 3 – Hierarquia de ações prioritárias na gestão de resíduos sólidos, de acordo com a PNRS.



Fonte: Elaborado pela autora com base na PNRS (BRASIL, 2010).

Notadamente, devem ser preconizadas práticas de não geração e de redução na geração de resíduos sólidos. Uma vez gerados, busca-se alguma forma de reutilização e diante da sua impossibilidade, opta-se por submetê-los a processos que resultarão em modificações nas suas propriedades, como a reciclagem, a compostagem ou algum tratamento específico, de acordo com o tipo de resíduo. Os materiais descartados que não podem ser reaproveitados devem seguir para disposição em aterro, minimizando o máximo possível os impactos socioambientais decorrentes.

A destinação ambientalmente adequada deve ser dada aos resíduos, diante da possibilidade de reincorporá-los, ainda que parcialmente, ao ambiente, concebendo-os como matéria-prima secundária ou insumo produtivo dotado de valor econômico. Logo, a disposição final não deve ser adotada como prioridade nos sistemas de gestão, uma vez que se aplica tão somente aos rejeitos, que são materiais cuja alternativa de recuperação inexistente ou se faz inviável economicamente.

2.3 O VIDRO

O vidro possui características específicas de resistência e desempenha um papel fundamental enquanto produto ou insumo dos segmentos produtivos atrelados à construção civil, fabricação de automóveis e embalagens, bem como, pelos setores de inovação que requerem alta tecnologia – com aplicações médicas, ópticas e no setor de telecomunicações (TESTA *et al*, 2017).

Os materiais vítreos caracterizam-se, sobretudo, por serem isolantes, transparentes (ou translúcidos), não deformáveis e estáveis sob condições ambientais severas (VAN VLACK, 1984). Trata-se de um material com elevada resistência à ruptura, boa resistência ao calor e ao desgaste e atrito reduzido (SMITH; HASHEMI, 2012).

Por consequência, são largamente empregados, sobretudo, por conta de sua transparência, impermeabilidade e resistência a altas temperaturas. Em relação aos ganhos ambientais, trata-se de um material inerte, reutilizável, reciclável, higiênico e biologicamente inativo (PINTO-COELHO, 2009; DIAS; CRUZ, 2009).

2.3.1 Tipos de vidro: classificação, características gerais e aplicações

Os tipos de vidro diferem entre si, basicamente, pela composição química e, conseqüentemente, pelas aplicações convencionalmente adotadas pela indústria vidreira, que variam conforme o modo de fabricação. Quanto à composição, os principais tipos de vidros são classificados da seguinte forma: sílica-vítrea, vidros soda-cal, vidros ao chumbo, borossilicatos e alumino-boro-silicatos. Em relação às aplicações industriais, têm-se vidros planos,ocos ou técnicos (ROSA; COSENZA; BARROSO, 2007; PINTO-COELHO, 2009).

A composição da maioria dos vidros contém óxido de sílica (SiO_2) em conjunto com outros óxidos em proporções variáveis (CaO , Na_2O , K_2O e Al_2O_3) (NAVARRO, 2003; CALLISTER Jr., 2008). Os principais elementos constituintes do vidro encontram-se nas

fontes de areia (SiO_2), barrilha (Na_2CO_3), calcário (CaCO_3) e alumina (procedente de feldspatos) (ROSA; COSENZA; BARROSO, 2007; PINTO-COELHO, 2009). A Tabela 2 mostra a composição de diferentes tipos de vidros e suas principais aplicações.

Tabela 2 – Composição e aplicações típicas de vidros comerciais.

Tipo	Aplicações	Composição (em % em massa)							
		SiO ₂	Al ₂ O	B ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	PbO
Sodo-cálcico	Embalagem	72,0	2,0	-	12,5	1,0	11,0	1,5	-
	Plano	71,0	1,0	-	13,5	0,5	10,0	4,0	-
	Lâmpada	73,0	1,0	-	16,5	0,5	5,0	4,0	-
Borossilicato	®Pyrex	79,0	2,0	13,0	5,5	-	-	-	-
	Fibra isolamento	66,0	1,5	3,5	15,5	1,0	8,0	4,0	-
Chumbo	“Cristal”	56,0	-	-	4,0	12,0	2,0	2,0	24,0
	Néon	63,0	1,0	-	8,0	6,0	-	-	22,0
	Lente	32,0	-	-	1,0	2,0	-	-	65,0
Aluminoborossilicato	Farmacêutico	72,0	6,0	11,0	7,0	1,0	1,0	-	-
	Fibra reforço	55,0	15,0	7,0	-	-	19,0	4,0	-
	Tubo combustão	62,0	17,0	5,0	1,0	-	8,0	7,0	-

Fonte: (AKERMAN, 2000, p. 18).

Os vidros conhecidos por sílica-vítrea contêm percentual de sílica superior a 99%. Caracterizam-se por elevada temperatura de fusão, baixo coeficiente de expansão térmica e elevada resistência ao choque térmico. Suas principais aplicações são: janelas de veículos espaciais, espelhos astronômicos e produção de fibras ópticas (NAVARRO, 2003; ROSA; COSENZA; BARROSO, 2007; CALLISTER Jr., 2008; PINTO-COELHO, 2009; GOULART, 2010; SMITH; HASHEMI, 2012).

A composição dos vidros comuns ou soda-cal são à base de sílica com incorporação de óxidos de sódio (Na_2O) (12 e 17%) e de cálcio (CaO) (8 e 12%). Compreende a composição da maior parte dos vidros comerciais, tanto planos quanto ocós. São utilizados em embalagens em geral e pela indústria automobilística, na construção civil e na fabricação de eletrodomésticos (na forma de vidros não planos) (AKERMAN, 2000; NAVARRO, 2003; ROSA; COSENZA; BARROSO, 2007; CALLISTER Jr., 2008; PINTO-COELHO, 2009; GOULART, 2010; SMITH; HASHEMI, 2012).

Os vidros ao chumbo são conhecidos equivocadamente como “cristais”, empregados em decoração (louças, copos e taças) e ornamentação de mesa, bem como, em janelas de proteção contra radiação e pela indústria eletroeletrônica. A presença de chumbo na composição confere um aumento no índice de refração e, por consequência, é responsável pelo brilho característico dessa tipologia de vidro (NAVARRO, 2003; ROSA; COSENZA;

BARROSO, 2007; CALLISTER Jr., 2008; PINTO-COELHO, 2009; GOULART, 2010; SMITH; HASHEMI, 2012).

Os vidros borossilicatos contêm óxido de boro (B_2O_3) em sua composição e são conhecidos comercialmente como Pyrex® e Marinex®. São bastante resistentes ao choque térmico e ao ataque químico e, por isso, são utilizados como produtos de mesa que podem ser levados ao forno e em vários equipamentos de laboratório (NAVARRO, 2003; ROSA; COSENZA; BARROSO, 2007; CALLISTER Jr., 2008; PINTO-COELHO, 2009; GOULART, 2010; SMITH; HASHEMI, 2012).

Do mesmo modo, os vidros alumino-boro-silicatos podem ser aquecidos a temperaturas extremamente elevadas sem sofrer deformação, devido à adição de alumina (Al_2O_3). Suas aplicações são mais nobres: tubos de combustão, fibras de reforço, vidros com alta resistência química e vitrocerâmicos (NAVARRO, 2003; ROSA; COSENZA; BARROSO, 2007; CALLISTER Jr., 2008; PINTO-COELHO, 2009; GOULART, 2010; SMITH; HASHEMI, 2012).

Em relação ao modo de fabricação e às aplicações industriais, os vidros temperados, laminados ou blindados são exemplos de vidros planos, comercializados na forma de chapas. Os vidros de uso doméstico (louças de mesa, copos, xícaras, cristais) e de embalagens se enquadram no grupo dos vidros ocos (ROSA; COSENZA; BARROSO, 2007; MONTANO; BASTOS, 2013; FREIRE, 2016; BRASIL, 2018).

Os vidros técnicos ou especiais possuem aplicações específicas, tais como: lãs e fibras de vidro, tijolos e blocos de vidro, isoladores elétricos, ampolas para garras térmicas, bulbos de lâmpadas e vidros para tubos de imagem (ROSA; COSENZA; BARROSO, 2007; MONTANO; BASTOS, 2013; FREIRE, 2016).

2.3.2 Características técnicas relacionadas à produção de vidro

A definição usualmente adotada para o vidro faz menção à sua estrutura, dita amorfa ou não cristalina. Este material é produzido a partir da fusão de matérias-primas inorgânicas e posterior resfriamento até uma condição de rigidez, sem cristalizar-se, ou seja, sem apresentar simetria ou periodicidade ordenada de longo alcance na sua estrutura molecular (VAN VLACK, 1984; ASTM, 2009; SMITH; HASHEMI, 2012).

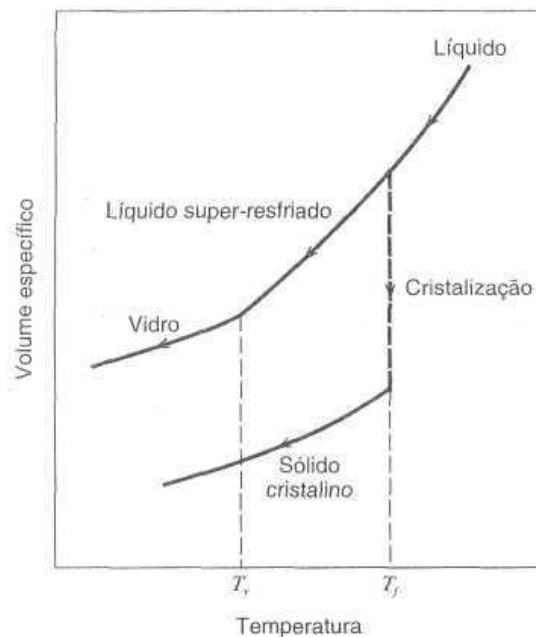
Possui estrutura semelhante a um líquido, entretanto, com comportamento de um sólido à temperatura ambiente. Logo, pode ser vertido, soprado, pressionado e moldado de diferentes maneiras (TESTA *et al*, 2017). O comportamento de solidificação do vidro

caracteriza-se por um líquido que se torna mais viscoso na medida em que se reduz a temperatura, até atingir o estado dito rígido – vítreo frágil (SMITH; HASHEMI, 2012).

Portanto, compreende um líquido sub-resfriado, rígido, sem ponto de fusão definido e cuja viscosidade elevada impede a sua cristalização (GOULART, 2010). Não há uma temperatura específica de mudança de estado, a partir da qual o líquido se transforma em um sólido, a exemplo dos materiais cristalinos quando alcançam a temperatura de fusão (CALLISTER Jr., 2008).

Em estudos sobre o vidro fala-se em temperatura de transição vítrea (T_g). Admitindo que haja uma redução contínua do volume com a elevação da temperatura, conforme ilustra a Figura 4, tem-se a passagem de um material no estado sólido, para a condição de um líquido super-resfriado e, finalmente, para um líquido (ALVES; GIMENEZ; MAZALI, 2001).

Figura 4 – Processo de solidificação de sólidos cristalinos e amorfos.

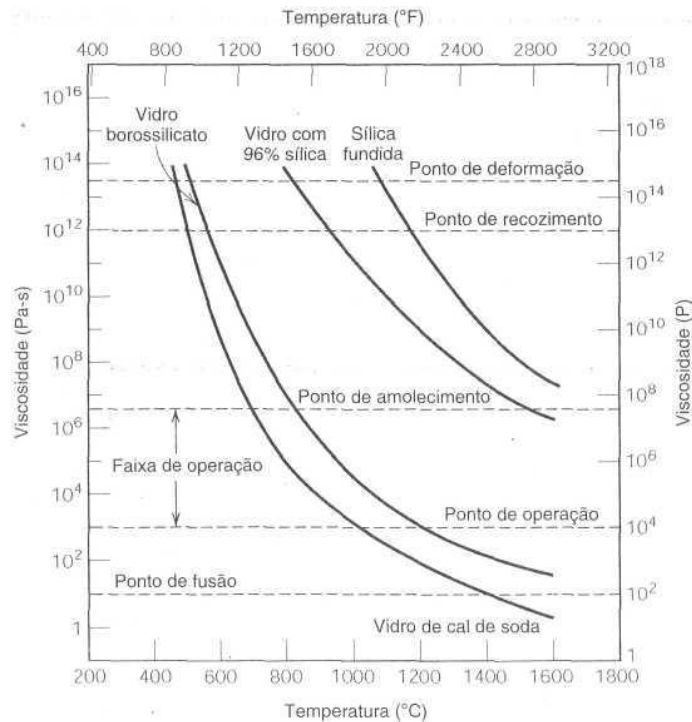


Fonte: (CALLISTER Jr., 2008, p. 315).

A temperatura de transição vítrea, portanto, compreende o intervalo de temperaturas onde ocorre uma relaxação estrutural e determinadas propriedades começam a apresentar comportamento diferente do padrão observado até então (ALVES; GIMENEZ; MAZALI, 2001). Caracteriza-se por uma pequena variação na curva volume-temperatura (Figura 4), na chamada região de transformação. Assim, abaixo da temperatura de transição vítrea (indicada por T_v) têm-se materiais vítreos (rígidos e frágeis), enquanto valores acima correspondem a materiais no estado líquido (deformáveis) (CALLISTER Jr., 2008).

Considerando a elevação da temperatura acima da temperatura de transição vítrea, tem-se a redução da viscosidade. Destaca-se que cada vidro, em função de sua composição, possui uma curva particular de viscosidade em função da temperatura, conforme ilustra a Figura 5 (FERNANDES, 1999; CALLISTER Jr., 2008).

Figura 5 – Efeito da temperatura na viscosidade de diferentes vidros.

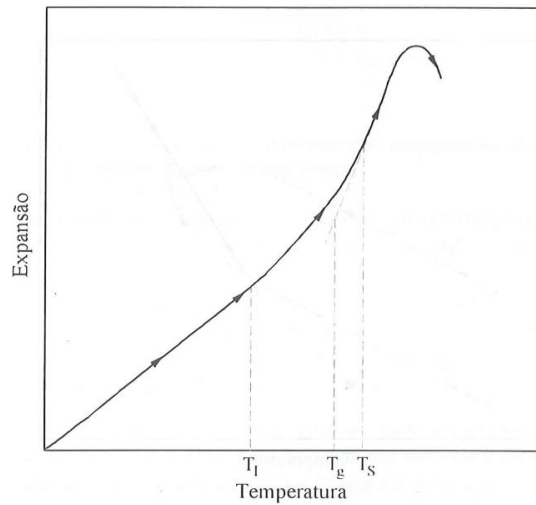


Fonte: (CALLISTER, 2008, p. 315).

A faixa de viscosidade correspondente aos pontos de operação e de amolecimento indica a variação de temperatura mais adequada para a conformação do vidro. O ponto de amolecimento, no entanto, corresponde à temperatura máxima em que esse material pode ser manuseado sem que ocorra uma deformação permanente. Por fim, o ponto de recozimento permite que tensões residuais possam ser removidas, num intervalo de 15 minutos (CALLISTER Jr., 2008; SMITH; HASHEMI, 2012).

A região de transformação de um vidro pode ser representada também pela curva de expansão térmica em função da temperatura, intervalada pelos limites inferior (T_l) e superior de recozimento (T_s) – primeira e última inflexões da curva de expansão térmica em função da temperatura (Figura 6). A temperatura de transição vítrea encontra-se nessa zona de transformação e indica uma temperatura aproximada de mudança de estado da composição do material (FERNANDES, 1999).

Figura 6 – Curva típica de expansão térmica em um vidro.



Fonte: (FERNANDES, 1999, p. 21).

Diante do exposto, é importante conhecer as funções dos óxidos que constituem os vidros, classificados em: vitrificantes, fundentes e estabilizantes. Os óxidos vitrificantes (SiO_2 , B_2O_3 , P_2O_5) são os principais formadores da rede de vidro, em especial a sílica; e são responsáveis pelas suas principais características ou propriedades (FERNANDES, 1999; ALVES; GIMENEZ; MAZALI, 2001; NAVARRO, 2003).

Os óxidos fundentes (ou modificadores – Na_2O , K_2O , Li_2O , CaO , MgO , BaO , PbO) são empregados para modificar a rede de vidro e reduzir o ponto de fusão da sílica. O óxido de sódio (Na_2O) é o fundente mais comumente utilizado. Os estabilizantes (intermediários – Al_2O_3 , TiO_2 , CaO , Na_2O , MgO , BaO , PbO , ZnO), conforme a denominação sugere, permitem que algumas propriedades se mantenham inalteradas. O óxido de cálcio (CaO), por exemplo, confere ao vidro, maior estabilidade química (FERNANDES, 1999; ALVES; GIMENEZ; MAZALI, 2001; NAVARRO, 2003).

Há também os componentes secundários (corantes, descorantes, opacificantes), que são utilizados em menores proporções e incorporados para obtenção de funções específicas (afinantes e redutores) (FERNANDES, 1999; ALVES; GIMENEZ; MAZALI, 2001; NAVARRO, 2003).

Portanto, é possível modificar a composição e as propriedades dos vidros, incorporando constituintes específicos, para que atendam às aplicações desejadas. De modo geral, a adição de óxidos fundentes (ou modificadores) e estabilizantes (ou intermediários) diminui o ponto de fusão e a viscosidade do vidro, facilitando o seu manuseio e a conformação sob temperaturas mais baixas (CALLISTER Jr., 2008).

Em relação ao modo como o vidro é fabricado, tem-se, basicamente, a fusão das matérias-primas sob temperaturas elevadas, formação de um líquido viscoso – massa de vidro fundida – e posterior moldagem/conformação, seguida pelo resfriamento. Logicamente, tal processo é precedido pela extração e seleção das matérias-primas, cálculo da composição relativa de cada componente, pesagem e homogeneização da mistura (FERNANDES, 1999; ALVES; GIMENEZ; MAZALI, 2001; AKERMAN, 2014).

A fabricação do vidro compreende um processo fortemente dependente de aporte energético nas fases de sua manufatura (Quadro 2). Consequentemente, o setor do vidro é considerado energo-intensivo e, portanto, um grande emissor de gases do efeito estufa, além de ser um consumidor expressivo de matérias-primas minerais e não minerais (CNI, 2016; BRASIL, 2018). Estima-se que para a fabricação de uma tonelada de vidro de embalagem, sejam emitidos 100 kg/t de CO₂, enquanto para vidros planos, gera-se 190 kg/t (SCHMITZ *et al*, 2011).

Quadro 2 – Principais etapas da fabricação de vidros por faixa de temperatura.

Fases	Faixa de Temperatura
Fusão	1.500 – 1.600 °C
Conformação	800 – 1.200 °C
Resfriamento (recozimento)	100 – 800 °C

Fonte: (PINTO-COELHO, 2009, p. 175).

Após a obtenção do líquido fundido, o processamento varia em função do formato desejado ou da aplicação pretendida. A moldagem pode ser feita por métodos distintos: sopro, prensagem, fundição e flutuação (ALVES; GIMENEZ; MAZALI, 2001; AKERMAN, 2014). Há ainda, vidros cuja resistência precisa ser incrementada, seja por têmpera térmica ou química (CALLISTER Jr., 2008; SMITH; HASHEMI, 2012).

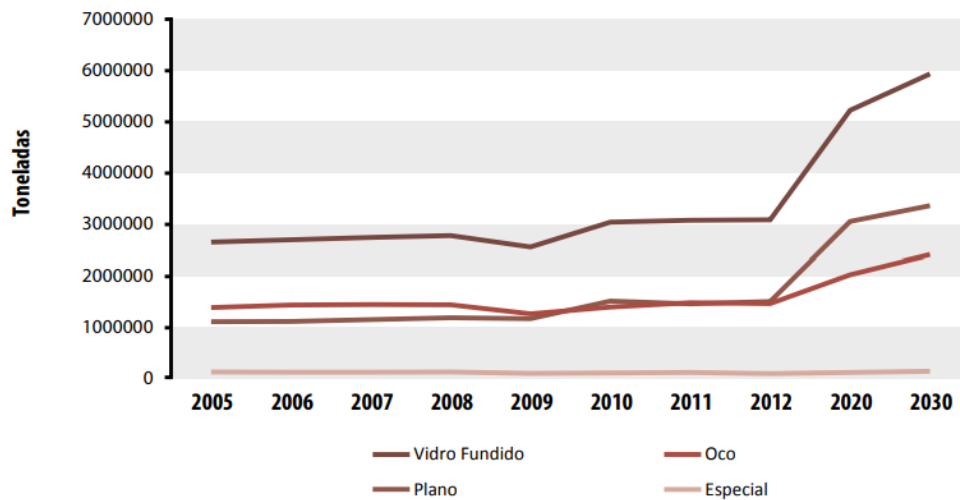
O vidro plano é fabricado na forma de chapas que podem ser cortadas e processadas. O principal método de produção se dá pela flutuação em banho de estanho, originando o que se conhece por vidro *float*. Tal método permite a produção de placas com diferentes espessuras e com graus mínimos de imperfeições. A fabricação de vidros planos pelo processo *float* representa 90% da produção mundial (FERNANDES, 1999; ROSA, COSENZA; BARROSO, 2007; MONTANO; BASTOS, 2013; FREIRE, 2016; BRASIL, 2018).

2.3.3 Capacidade produtiva e consumo aparente

De acordo com a Classificação Nacional por Atividade Econômica (CNAE), o setor do vidro integra o grupo “Fabricação de vidro e de produtos de vidro”, que inclui as classes “Fabricação de vidro plano e de segurança”, “Fabricação de embalagens de vidro” e “Fabricação de artigos de vidro”, agregando, portanto, as indústrias de base (fusão do vidro) e de transformação (AKERMAN, 2014; BRASIL, 2018).

A Figura 7 mostra a produção de vidros no país e sinaliza para um montante superior a quatro milhões de t/ano. A série correspondente ao vidro fundido indica a produção total, admitindo os três tipos: plano, oco e especial. Entre os anos de 2005 e 2012 verificou-se um incremento de 25% na produção, tendo em vista que não há disparidades acentuadas entre os vidros oco e plano. De todo modo, as projeções apontam para o aumento da produção, sobretudo, de vidro plano (CNI, 2016).

Figura 7 – Estimativa de produção do vidro, por tipo: fundido (total), oco, plano e especial.



Fonte: (CNI, 2016, p. 16).

No país, são 23 fábricas pertencentes a 13 grandes grupos que totalizam uma capacidade instalada de aproximadamente 12 mil t/dia de vidro, correspondentes a 4,4 milhões t/ano. A produção atual, no entanto, é de 3,2 milhões de t/ano, gerando 13 mil empregos diretos e um faturamento líquido de R\$ 10 bilhões de reais (AKERMAN, 2014; ZAMPELLI, 2017).

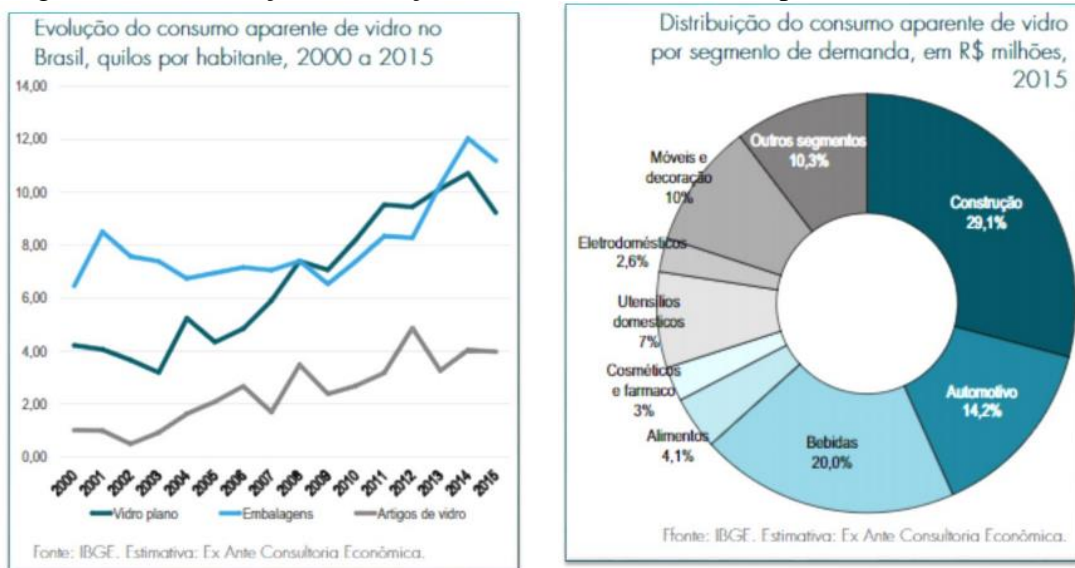
Os grupos responsáveis pela fabricação de vidro no país são, na sua maioria, de origem norte-americana, japonesa e francesa; sendo que das 23 fábricas, sete são nacionais. As unidades se encontram nas regiões nordeste, sudeste e sul, com destaque para o estado de

São Paulo, onde se concentram 14 fábricas. Quanto à representatividade por tipo de produto, 55% da capacidade produtiva instalada destina-se ao vidro plano *float* e 33% à fabricação de vidro para embalagens (AKERMAN, 2014).

O consumo *per capita* de embalagens de vidro no Brasil oscila entre 4 e 11 kg/ano, dependendo do porte do município (ABIVIDRO, 2011). Dados da Federação de Embalagens de Vidro da União Europeia (FEVE) (ACR+, 2012) sinalizam que um habitante europeu descarta ao longo de um ano entre 13 e 47 kg de vidro.

A Figura 8 mostra a evolução do consumo aparente *per capita* de vidro entre os anos de 2000 e 2015 no Brasil e a distribuição por segmento de demanda (em milhões de R\$, em 2015). Observa-se uma elevação considerável no consumo desse material, que duplicou ao longo de 15 anos: houve um aumento de 11,9 kg/hab./ano em 2000 para 24,4 kg/hab./ano em 2015 (ZAMPELLI, 2017).

Figura 8 – Distribuição e evolução do consumo de vidro no país entre 2000 e 2015.



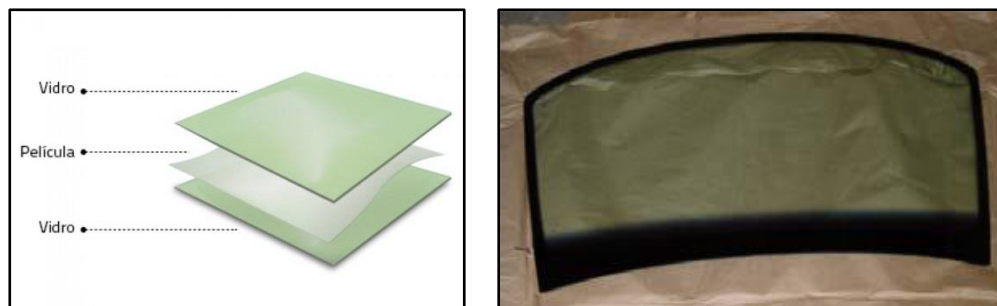
Fonte: (ZAMPELLI, 2017, p. 5).

No ano de 2015, particularmente, o consumo de vidro de embalagens foi de 11,5 kg/hab./ano, superior ao de vidro plano: 9,5 kg/hab./ano. Cerca de 30% do vidro produzido no país é utilizado pelo setor da construção, enquanto 20% é empregado pelas indústrias de bebidas. As indústrias automotivas consomem 14,2% do vidro fabricado no país (ZAMPELLI, 2017).

2.4 O VIDRO LAMINADO AUTOMOTIVO

São oferecidos diversos tipos de vidros planos no mercado: temperado, laminado, tampo ou curvo, espelho e insulado (ABRAVIDRO, 2016). Os vidros laminado e temperado são conhecidos como vidros de segurança. No que se refere ao vidro plano laminado, especificamente, a sua composição é do tipo “sanduíche” (Figura 9): são duas camadas externas de vidro soda-cal fortemente acopladas sob calor e pressão, por uma ou mais camadas intermediárias de polímero (PVB – polivinilbutiral) (VARELA, 2005; MONTANO; BASTOS, 2013).

Figura 9 – Composição e aplicação do vidro plano laminado.



Fonte: (VARELA, 2005, p. 43).

Essa tipologia de vidro é empregada pela indústria automobilística na fabricação de vidros de para-brisas e também no ramo de construção civil – em portas, divisórias e janelas sem esquadrias. Além do PVB, podem ser utilizados outros materiais, como resina de poliéster líquida ou etileno-vinil-acetado (EVA) (AMVID, 2011; AKERMAN, 2013).

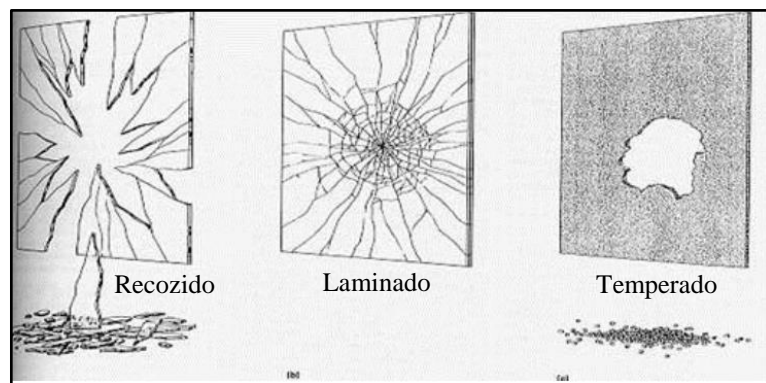
O PVB é um polímero bastante flexível, de alta aderência e durabilidade; e o seu emprego entre as lâminas de vidro pela indústria automobilística se justifica por questões de segurança, já que o plástico impede o estilhaçamento dos cacos de vidro, que ficam aderidos ao polímero em caso de colisões e acidentes. Em caso de choque mecânico, não há risco de quebras ou lacerações; produz-se o efeito de uma “teia de aranha” (Figura 10) (VARELA, 2005; VARGAS; WIEBECK, 2007).

O vidro recozido caracteriza-se por não possuir tratamento térmico ou químico, inclusive, por isso que os vidros de segurança – temperado e laminado – quando quebrados, se desintegram em pedaços menos cortantes do que o vidro recozido (BARROS; VIANA, 2010). O vidro laminado é utilizado na fabricação de para-brisas, obrigatoriamente, desde

1990 no Brasil; e o vidro temperado, na fabricação de janelas laterais e traseiras dos veículos (GM, 2012).

Ressalta-se ainda, que a laminação confere ao vidro, além de segurança, as funções térmica e acústica. O conforto acústico é possível devido à espessura da camada intermediária (polímero) e o conforto térmico é obtido com o uso de placas de vidro de controle solar (MONTANO; BASTOS, 2013).

Figura 10 – Caracterização da função de segurança atribuída ao vidro laminado automotivo, comparativamente aos vidros recozido e temperado.



Fonte: (AKERMAN, 2013, p. 55).

Quanto à fabricação do vidro laminado automotivo, o processo constitui-se das seguintes etapas: corte, lapidação e lavagem das placas de vidro; colocação do PVB, extração do ar das interfaces e pré-selagem das bordas; e dissolução do ar residual presente nas lâminas em autoclave (AMVID, 2011).

No estudo de Marchiori (2017), que acompanhou o processo produtivo de uma empresa fabricante de para-brisas no Rio Grande do Sul, verificou-se que a matéria-prima principal são as chapas de vidro *float*. Após o corte e a lapidação das bordas, as chapas seguem para a etapa de lavagem e escovação com água quente; são inspecionadas individualmente empregando um pano com álcool; seguindo para serigrafia e colocação do selo de homologação.

A etapa seguinte caracteriza-se pela curvatura das peças, por gravidade, em forno com temperatura máxima de 640 °C. Após a limpeza manual e inspeção, o vidro moldado em formato de para-brisas é encaminhado para uma sala com umidade e temperatura controladas, para a laminação. O PVB, em rolo, é cortado de acordo com o tamanho desejado e aplicado sobre as lâminas, que passam pelo *pré-vacuum* e pela autoclave. A etapa final compreende a

inspeção individual e manual de todas as peças. O tempo médio de produção de uma unidade de para-brisas pela empresa analisada é de sete minutos e 26 segundos (MARCHIORI, 2017).

No Brasil, a capacidade nominal de produção de vidros planos para o ano de 2017 foi de 6.680 t/dia. Em termos de participação, o vidro temperado representa 52,8% da produção nacional, enquanto o laminado, 11,4% (ABRAVIDRO, 2018). O consumo de vidros planos processados em m² pode ser visto na Tabela 3.

Tabela 3 – Consumo de vidros planos processados em m².

Período	Temperado	Laminado	Tampo	Espelho	Insulado	Total
2015	31.195.581	8.176.137	6.812.998	15.618.612	363.465	62.166.793
2016	27.389.770	7.276.762	4.32.839	15.118.816	325.665	54.743.852
2017	28.862.700	6.243.462	4.290.333	15.020.923	312.100	54.729.518

Fonte: (ABRAVIDRO, 2018).

Segundo dados do Ministério de Minas e Energia (MME, 2015), um brasileiro consome, em média, 10 kg desse tipo de vidro ao longo de um ano. O consumo *per capita* de mercados europeus e norte-americanos é de 8,5 e 14 kg, por ano. Em regiões asiáticas e latino-americanas, o consumo anual é inferior, na ordem de 4 e 6 kg, respectivamente (MONTANO; BASTOS, 2013).

2.4.1 Reciclagem de vidro de para-brisas

Uma vez descartado, o vidro laminado automotivo compreende um resíduo de origem comercial e também industrial, gerado tanto pelo mercado de reposição na etapa de pós-consumo (lojas especializadas em vidros e acessórios automotivos), como também pelas próprias indústrias de transformação que os fabricam. Em função da presença de defeitos de diversas naturezas, parte da produção é prontamente descartada, já que não atende às especificações técnicas de segurança da indústria automotiva. O percentual de rejeição pode chegar a 10% (VARELA, 2005).

Varela (2005) constatou, na ocasião da sua pesquisa, um descarte na ordem de 120 mil para-brisas/mês no Brasil, equivalentes a 21,6 milhões t/ano encaminhadas para vias finais de disposição, admitindo que cada unidade pesa, em média, 15 kg (14 kg de vidro e 1 kg de plástico). Quanto às unidades descartadas pelas montadoras, reprovadas pelo controle de qualidade, em média, tem-se um descarte de 3.045 t/ano.

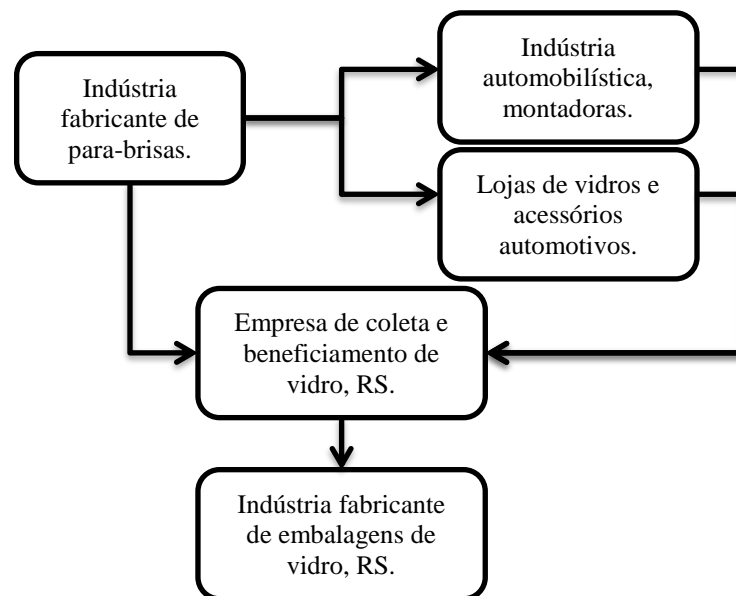
Os dados divulgados pela Federação Nacional da Distribuição de Veículos Automotores (FENABRAVE) apud Instituto Autoglass (2013) são mais recentes, no entanto,

se referem a uma estimativa feita pelas seguradoras automotivas. Estima-se que somente 1,5% da frota nacional que sai de circulação recebe destinação adequada. A quebra de vidro de para-brisas no país gera um descarte de mais de 5 mil t/mês de sucatas de vidro, equivalentes a 60 mil t/ano, das quais, somente 8% é reciclada.

Na União Europeia, estima-se um descarte entre 8 e 9 milhões de veículos, anualmente. Na Coreia, essa taxa é de cerca de 700 mil veículos/ano. Considerando que o vidro laminado representa 3% da composição de um veículo, há um potencial considerável de material a ser valorizado (SWAIN *et al*, 2015).

Marchiori (2017) identificou cinco elos principais que compõem a cadeia de reciclagem de vidro laminado automotivo no Rio Grande do Sul, conforme ilustra a Figura 11. Nas indústrias fabricantes de para-brisas, os resíduos vítreos provenientes da etapa de corte e lapidação, assim como as unidades reprovadas pelo controle de qualidade são encaminhados para uma empresa de coleta e beneficiamento de vidro.

Figura 11 – Cadeia de reciclagem do vidro laminado automotivo no Rio Grande do Sul.



Fonte: Adaptado de (MARCHIORI, 2017).

Após a classificação, trituração, moagem e separação dos seus constituintes, o material beneficiado é comercializado como insumo produtivo na fabricação de embalagens de vidro. As montadoras e as lojas de vidros e acessórios automotivos adotam a mesma alternativa de destinação (MARCHIORI, 2017).

Simões (2013) também apontou como alternativa de destinação do vidro laminado automotivo em São Paulo, a reciclagem através da fabricação de embalagens. O autor

descreve o processo de obtenção do insumo secundário comercializado com as vidrarias e afirma que a separação do vidro e do polímero se dá na etapa de moagem: as partículas de vidro se desprendem quase que por completo da lâmina de PVB.

Quanto ao PVB, tanto Simões (2013) quanto Marchiori (2018) alegaram que as empresas analisadas não o reaproveitam e empregam a disposição final em aterro sanitário como alternativa adotada. Constatou-se, portanto, que o pó de vidro, resultante do processo de moagem, em ambos os estudos é destinado para as indústrias de fabricação de embalagens, ou seja, para as vidrarias.

Em relação ao reaproveitamento do vidro laminado automotivo através da reciclagem, Varela *et al* (2000) utilizaram resíduo de lapidação de vidros laminados e temperados na fabricação de um compósito e problematizaram a ausência de aplicações técnicas para o resíduo mencionado. Houve uma melhora nas propriedades mecânicas com a adição do vidro de para-brisas, além de uma redução no custo do produto final.

Varela (2005) também se ateve em identificar rotas de aproveitamento do vidro laminado rejeitado por indústrias automobilísticas. Tanto as aparas de filme PVB quanto o vidro particulado com granulometria inferior a 150 μm foram reaproveitados na produção de uma mistura polimérica. O resíduo de vidro com granulometria superior a 150 μm foi incorporado pela indústria vidreira.

Vargas e Wiebeck (2007, p. 140) utilizaram essa tipologia de resíduo na fabricação de vernizes para pisos de madeira, com a finalidade de aumentar a resistência à abrasão. Os autores constaram que “[...] quanto maior a quantidade de vidro na mistura, maior a resistência à abrasão”, desse modo, os vernizes cuja composição continha resíduo de vidro combinado com o óxido de alumínio apresentaram um ótimo desempenho, com resistência à abrasão, inclusive, superior aos produtos comercializados no mercado.

Simões (2013) analisou a aplicação do resíduo de vidro laminado como substituto parcial na produção de cimento e não observou uma melhoria considerável nas propriedades analisadas, embora também não tenha constatado perdas expressivas, apontando para a viabilidade técnica de sua utilização.

2.4.2 Reaproveitamento de resíduos pelo segmento cerâmico

Percebeu-se um incremento nos últimos anos no número de estudos científicos demonstrando a viabilidade da reciclagem, de modo que a “[...] a indústria cerâmica é uma das que mais se destacam na reciclagem de resíduos industriais e urbanos. [...] é uma das

poucas áreas industriais que podem obter vantagens no seu processo produtivo com a incorporação de resíduos entre as suas matérias-primas” (MENEZES; NEVES; FERREIRA, 2002, p. 304).

Os produtos do segmento cerâmico caracterizam-se pela possibilidade de uma ampla gama de composições e, por isso, permitem a incorporação de diversos tipos de resíduos no seu processo. Dentre os fatores, citam-se: a compatibilidade entre a matéria-prima natural e o resíduo; o tipo de ciclo, que permite a sua adição; altas temperaturas; e a manutenção das características necessárias ao produto final (ANDREOLA *et al*, 2016).

Dal Bó, Barbeta e Hotza (2007) comprovaram a possibilidade de reciclagem de algumas tipologias de resíduos provenientes da indústria de revestimentos cerâmicos – tais como cinza de carvão, areia da fornalha, raspas de esmalte, dentre outros – na fabricação de placas refratárias. O emprego dos resíduos gerados pela própria empresa no processo contribuiu tanto para uma redução de 97% em relação ao custo da placa refratária, como também para uma destinação ambientalmente adequada e segura.

Mombach *et al* (2006) se propuseram a reciclar vidro de lâmpadas fluorescentes na fabricação de fritas cerâmicas. Foi possível incorporar entre 10 e 20% do resíduo na composição do produto final. Do mesmo modo, bastante semelhante ao trabalho dos autores supracitados, Dal Bó, Silva e Oliveira (2009) utilizaram resíduos de vidro plano e vidro de bulbo de lâmpadas na fabricação de vetrosas cerâmicas e conseguiram incorporar 40% de resíduo, evitando o descarte em aterros e conferindo valor agregado ao produto final. Nandi *et al* (2014) também demonstraram a possibilidade de reciclagem do vidro de lâmpadas fluorescentes, quando adicionadas e descontaminadas, à massa da cerâmica vermelha.

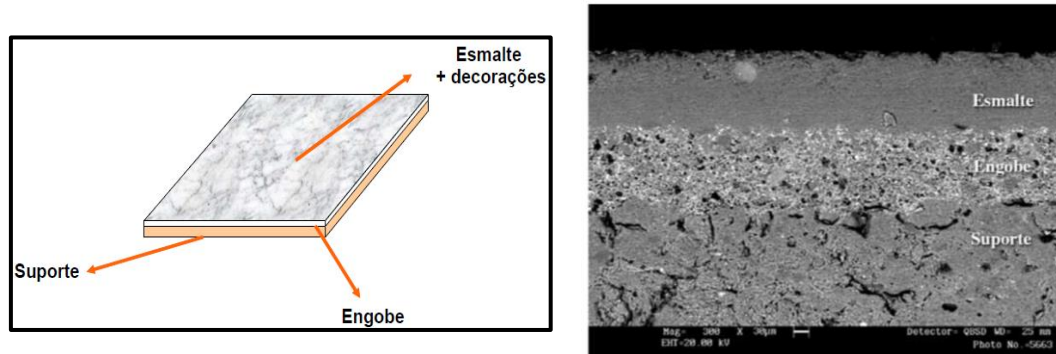
2.4.2.1 A fabricação de fritas e esmaltes cerâmicos

Grande parte dos revestimentos cerâmicos esmaltados produzidos atualmente constituem-se pela sobreposição de três camadas diferentes (Figura 12), com composições e propriedades também distintas. São elas: o suporte ou base cerâmica, que é o constituinte estrutural do produto, isto é, a parte argilosa conformada e seca; o engobe e o esmalte, que são camadas aplicadas na etapa de decoração e esmaltação (MELCHIADES, 2011; DAL BÓ *et al*, 2012).

O engobe cerâmico é a camada intermediária e por isso auxilia na minimização das diferenças físico-químicas entre o suporte (parte argilosa) e o esmalte (camada vidrada). Além disso, tem como função de ocultar a cor do suporte e do ponto de vista técnico, possui

importância relativa ao acoplamento das camadas e, por consequência, à curvatura do produto final (MELCHIADES, 2011; DAL BÓ *et al*, 2012).

Figura 12 – Seção transversal de um revestimento cerâmico com visualização das camadas que o constituem.

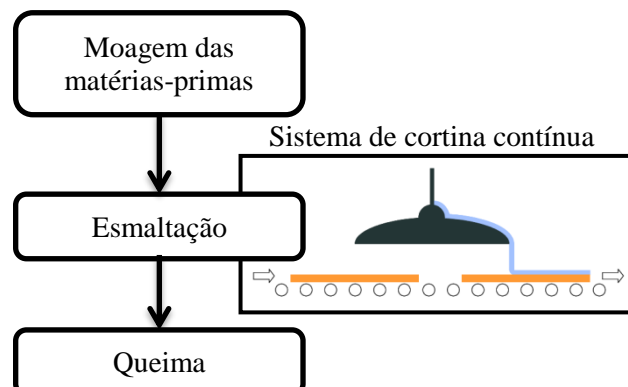


Fonte: (MELCHIADES, 2011, p. 15; DAL BÓ *et al*, 2012, p. 119).

O esmalte cerâmico é a camada superficial e tem por finalidade tornar a superfície do revestimento impermeável, além de aumentar a resistência ao desgaste e facilitar a sua limpeza (DAL BÓ *et al*, 2012). Logo, os esmaltes ou vidrados cerâmicos são materiais de natureza predominantemente vítrea e são responsáveis, sobretudo, pela impermeabilidade do produto e pela determinação de suas características estéticas (MELCHIADES, 2011).

Quanto ao processo de produção do esmalte em escala industrial (Figura 13), parte-se da moagem das matérias-primas por via úmida em moinhos de bolas, com a finalidade de obtenção de partículas suficientemente finas para a realização das etapas seguintes. Como resultado da moagem, tem-se uma suspensão com teor de sólidos e viscosidade controlados (MELCHIADES, 2011).

Figura 13 – Representação da produção de esmaltes cerâmicos e da técnica mais comumente empregada: o sistema de aplicação por cortina contínua.



Fonte: Adaptado de (MELCHIADES, 2011).

A etapa de aplicação caracteriza-se pela deposição de volumes controlados de esmalte sobre o suporte cerâmico, originando uma fina camada em sua superfície. O sistema de aplicação por cortina contínua é o método mais comumente empregado e consiste na passagem das peças sobre uma cortina de esmalte em fluxo contínuo, garantindo o recobrimento uniforme de toda a superfície (MELCHIADES, 2011).

Na etapa de queima, ocorre uma série de reações físico-químicas com a elevação da temperatura (que chega a 1.100 – 1.200 °C), responsáveis pela determinação das propriedades, bem como, pelo acopamento das camadas constituintes do revestimento (MELCHIADES, 2011).

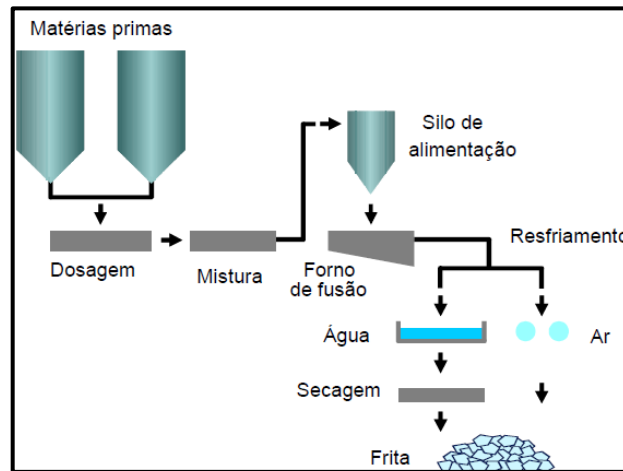
Os esmaltes cerâmicos podem ser classificados de formas distintas; e uma delas refere-se à presença ou ausência de fritas cerâmicas na sua composição, embora, praticamente a totalidade de esmaltes destinados à produção de revestimentos cerâmicos, atualmente, possui essa matéria-prima na sua composição. Os esmaltes ditos fritados possuem entre 50 e 95% de fritas, além de outros insumos, tais como: caulim, feldspato, quartzo, silicato de zircônio e alumina (SÁNCHEZ, 1997; AMORÓS, 2001; EPPLER, 2002).

Além da classificação citada anteriormente, os tipos de esmaltes variam em função de suas características técnicas e estéticas, em especial, relacionadas à propriedades óticas de sua superfície. Logo, podem ser brilhantes ou mates e transparentes ou opacos (MELCHIADES, 2011).

Quanto às fritas, compreendem matérias-primas de acabamento, de natureza predominantemente vítrea, empregadas largamente pela indústria de revestimentos na constituição dos esmaltes cerâmicos. Trata-se de um composto de vidro obtido por fusão sob altas temperaturas e posterior resfriamento brusco (OLIVEIRA; MAGANHA, 2006; MELCHIADES *et al*, 2009; GOULART, 2010).

Trata-se do principal produto fabricado pelos coloríficos e podem ser comercializadas *in natura* ou como compostos adicionados a outras matérias-primas naturais ou sintéticas. São obtidas, basicamente, pela mistura e dosagem das diversas matérias-primas, fusão e resfriamento. Após a fusão, a mistura é resfriada rapidamente em água de modo que a sua solidificação brusca e o consequente estilhaçamento do vidro conferem o aspecto granulado ao produto final (SERPA, 2007). A Figura 14 ilustra as etapas do processo produtivo das fritas cerâmicas.

Figura 14 – Etapas do processo produtivo das fritas cerâmicas.



Fonte: (MELCHIADES, 2011, p. 41).

As matérias-primas na forma de pó são dosadas e homogeneizadas em um misturador. A composição é inicialmente armazenada em silos e posteriormente introduzida no interior do forno de fusão, que opera sob temperaturas entre 1.400 e 1.550 °C. No interior do forno há uma abertura que permite o escoamento do material fundido, conduzido ao resfriamento rápido em água ou por meio de rolos refrigeradores de ar. A diferença de temperatura provoca o estilhamento do material vertido em pequenos pedaços de vidro conhecidos como fritas cerâmicas (EPPLER; EPPLER, 2000).

São propriedades atreladas ao produto acabado, influenciadas pela qualidade dos esmaltes cerâmicos, de acordo com a norma ABNT NBR 13.818 (1997) (Quadro 3): a resistência à abrasão superficial, ao risco, a resistência ao escorregamento, ao gretamento, ao manchamento, aos ataques químicos, entre outras.

Quadro 3 – Características técnicas, segundo a norma ABNT NBR 13.818, 1997.

Propriedades físicas	Propriedades químicas
Resistência à abrasão	Resistência à ácidos e bases, baixa concentração
Resistência ao gretamento	Resistência à ácidos e bases, alta concentração
Resistência ao gelo	Resistência à produtos de limpeza e piscina
Resistência ao choque térmico	Liberação de chumbo e cádmio
Expansão térmica linear	Resistência ao manchamento
Dureza da superfície	
Resistência ao impacto	

Fonte: (ABNT NBR 13.818, 1997).

2.5 CADEIA DE RECICLAGEM: ATORES, ELLOS E DIFICULDADES

A cadeia de reciclagem, de modo geral, independente do tipo de material descartado e comercializado, compõe-se de agentes diversos cujas funções podem variar dentro de um mesmo estágio da pirâmide hierárquica de relações, que se estabelecem desde a catação até a reutilização e transformação do resíduo por meio da reciclagem.

Basicamente, têm-se três agentes: catador, intermediário e reciclador. No entanto, dentro destes grupos, há aprofundamentos ou subclassificações e uma variedade de nomenclaturas, de acordo com as características aparentemente comuns entre os seus integrantes. Para facilitar a compreensão desse emaranhado de relações, a cadeia da reciclagem pode ser analisada por meio de uma pirâmide (Figura 15), cuja hierarquia ou poder de barganha, aumenta da base em direção ao topo.

Figura 15 – Estrutura do mercado de sucatas no Brasil.



Fonte: (VILHENA, 2014, p. 33).

Os catadores estão em maior número, se encontram na base da cadeia, e subdividem-se entre trabalhadores autônomos e organizados na condição de associações e cooperativas (VILHENA, 2014). São atividades comumente atreladas ao catador, as práticas de catação, triagem e comercialização de materiais recicláveis diversos (AQUINO; CASTILHOS Jr; PIRES, 2009).

A definição oriunda da Classificação Brasileira de Ocupações (CBO) inclui como atribuições dos trabalhadores da coleta e seleção de material reutilizável e reciclável, as práticas de coleta, seleção, comercialização e expedição. São atividades de sua competência também, o bom estado de conservação do ambiente de trabalho e dos equipamentos, bem como a divulgação da reciclagem (BRASIL, 2002).

Os intermediários, popularmente conhecidos como sucateiros ou atravessadores, *a priori*, representam o elo entre a base e o topo, ou seja, compram o material dos catadores e os revendem aos recicladores. Dependendo da quantidade armazenada, podem ser pequenos, médios ou grandes sucateiros (CALDERONI, 1999; AQUINO; CASTILHOS Jr; PIRES, 2009; VILHENA, 2014).

Além disso, nesse estágio, uma das funções desempenhadas compreende o beneficiamento ou pré-processamento do material, que pode conferir ao intermediário, maior valor agregado ao seu produto e uma denominação mais específica que vai além da revenda, a de beneficiador.

Logo, os pequenos e médios sucateiros compram o material dos catadores, podendo fazer uma pré-seleção para revendê-lo aos grandes sucateiros. Estes, conseguem agregar valor ao seu produto em quantidade e qualidade, uma vez que dispõem de depósitos maiores e de uma infraestrutura que lhes permite reduzir o excesso de impurezas, classificar e pré-beneficiar o material (AQUINO; CASTILHOS Jr; PIRES, 2009; PINHEL, 2013; GUADAGNIN *et al*, 2018).

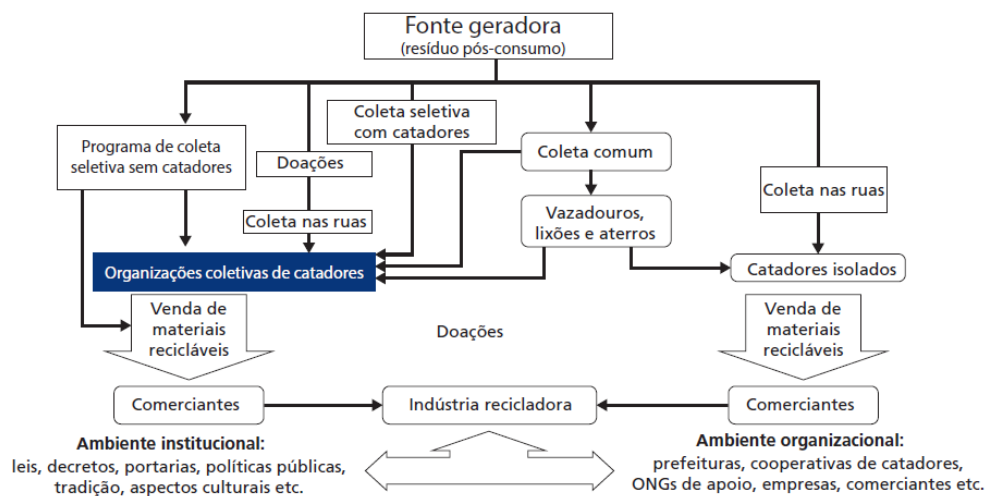
Por fim, as indústrias recicladoras se utilizam dos insumos ou matérias-primas secundárias comercializados com os sucateiros, incorporando-os ao seu processo produtivo, promovendo a refundição dos cacos e originando um novo produto (AQUINO; CASTILHOS Jr; PIRES, 2009; PINHEL, 2013; GUADAGNIN *et al*, 2018).

Aquino, Castilho Jr. e Pires (2009) se referem à cadeia produtiva reversa de pós-consumo e classificam os integrantes intermediários em três níveis, que se diferenciam pelo número de indústrias recicladoras com as quais são estabelecidas relações de venda. Os “intermediários nível 1” vendem seus materiais para outros intermediários e para até uma indústria recicladora; o “nível 2” caracteriza-se pelo comércio com outros intermediários e/ou para mais de uma indústria recicladora; e no “nível 3”, a venda é feita somente para indústrias recicladoras.

Conceição (2005) não se atém aos integrantes da cadeia de reciclagem, mas ao desmembramento das fases ou estágios de comercialização dos materiais recicláveis. O primeiro estágio caracteriza-se pela negociação de quantidades pouco expressivas de resíduos, entre mendigos ou xepeiros com carroceiros, catadores autônomos ou cooperativas de reciclagem. A segunda fase compreende a comercialização entre catadores e sucateiros e a terceira, se dá pela venda de quantidades maiores de recicláveis entre os sucateiros, munidos do poder de barganha, junto às indústrias recicladoras.

Santos *et al* (2011) contextualizam o que chamam de cadeia de valor da reciclagem, da qual participam além dos catadores, intermediários e recicladores, as empresas de coleta e o poder público (Figura 16). Os principais agentes envolvidos compreendem: os catadores e suas organizações de apoio; a empresa privada ou pública de coleta e deposição de resíduos; os comerciantes intermediários de material coletado; a indústria recicladora e transformadora; e o Estado, no tocante à regulação de políticas públicas que afetam os setores produtivos e os catadores. No esquema abaixo, os comerciantes representam os sucateiros ou atravessadores.

Figura 16 – Cadeia de valor da reciclagem para resíduo pós-consumo.



Fonte: (SILVA, 2017, p. 13; IPEA, 2012, p. 22).

Do mesmo modo, Pinhel (2013) descreve os elos da cadeia produtiva da reciclagem a partir de uma visão mais abrangente (Figura 17), partindo da segregação na fonte geradora. No elo da coleta seletiva, estão envolvidos os catadores, organizados ou não, bem como, as empresas privadas de coleta de lixo e as prefeituras. Nas centrais de triagem são desempenhadas as operações de separação, classificação, prensagem e enfardamento. Os principais agentes dessa fase compreendem os catadores organizados, sucateiros e aparistas.

Figura 17 – Fluxograma dos elos que compõem a cadeia produtiva da reciclagem.



Fonte: (PINHEL, 2013, p. 24).

No elo que compreende as operações de beneficiamento são aplicados procedimentos específicos para cada tipo de material, com o intuito de revendê-lo ao integrante do quinto elo da cadeia, que se vale dos insumos passíveis de serem utilizados em seu processo produtivo em substituição às matérias-primas virgens (PINHEL, 2013).

Nesse emaranhado de relações, os fatores preponderantes que conferem poder de barganha aos sucateiros e representam as condições mínimas de negociação junto aos recicladores, estão atrelados à quantidade mínima disponível e à qualidade do material fornecido (AQUINO; CASTILHOS Jr; PIRES, 2009; GUADAGNIN *et al*, 2018).

Sob a perspectiva dos catadores, ainda que organizados, tais requisitos são difíceis de serem cumpridos, notadamente, pela ausência de segregação na fonte geradora e pela ingerência dos sistemas de coleta seletiva nos municípios brasileiros. Conseqüentemente, as associações e cooperativas operam com capacidade aquém do esperado, o que implica em baixo rendimento, os tornam reféns dos intermediários e afastam qualquer possibilidade de proximidade com o topo da pirâmide.

Dados de Damásio (2010) revelaram na ocasião de sua pesquisa, que 35% das organizações coletivas no país e 43% dos catadores participantes operam com baixo grau de eficiência, ou seja, possuem uma produtividade média entre 550 e 1.100 kg por catador/mês. Um estudo do IPEA (2013) aponta um intervalo entre 400 e 600 mil catadores e catadoras de materiais recicláveis em todo o território nacional e relembra que o censo demográfico de 2010 contabilizou um universo de 387.910 declarantes catadores como forma de ocupação. De acordo com o Movimento Nacional de Catadores (MNCR, 2014), o número de catadores em atividades no Brasil é de 800 mil trabalhadores, dentre os quais, 70% são do sexo feminino.

Para Conceição (2005), o lucro proporcionado pela reciclagem do lixo fica com o sucateiro, que impõe o preço de venda dos produtos reciclados às cooperativas ou catadores, conforme a força de mercado, ao passo que a indústria transformadora também se beneficia com a economia de energia elétrica e de matéria-prima. O autor aponta que a média de agregação de valor entre o primeiro intermediário e o reciclador chega a 85%, ultrapassando 100% para alguns produtos, dentre os quais, o vidro colorido e o ferro.

Mesmo que algumas cooperativas disponham de infraestrutura para trabalhar com os resíduos e agregar mais valor, enfrentam problemas internos e externos de diversas naturezas. O catador continua vulnerável à exploração econômica porque são poucas as indústrias que compram materiais recicláveis (AQUINO; CASTILHOS Jr; PIRES, 2009; GUADAGNIN *et al*, 2018).

Logo, os integrantes menos beneficiados por essa lógica de comercialização compõem a base da pirâmide: são os atores que de fato empregam uso intensivo de mão de obra, atuam na informalidade e transformam o lixo em mercadoria. Em contrapartida, dificilmente, têm seu trabalho reconhecido pela sociedade ou apoiado efetivamente pelo poder público (CONCEIÇÃO, 2005; SILVA, 2017).

Guadagnin *et al* (2018) se reportam à cadeia cinza da reciclagem, justamente para caracterizar os processos paralelos que ocorrem entre os atores da cadeia produtiva da reciclagem pós-consumo, dada a condição de vulnerabilidade e informalidade do seu principal integrante, o catador. Os autores apontam como principais limitações, a falta de integração entre os agentes envolvidos e a fragilidade dos trabalhos de sensibilização e mobilização social para o estímulo da segregação na fonte geradora.

2.5.1 Nomenclaturas e atuação dos integrantes da cadeia de reciclagem

Diante do desconhecimento da cadeia de reciclagem no país na sua totalidade e da sobreposição de atores (ABIVIDRO, 2011), Rutkowski, Varella e Campos (2014) se referem à necessidade de uma nomenclatura para identificação dos seus agentes e apontam como principal gargalo a ausência da segregação na fonte geradora e a ineficiência dos programas de coleta seletiva.

Conceição *et al* (2016) e Guadagnin *et al* (2018) corroboram no sentido de que é fundamental identificar os agentes que a compõe, bem como as atribuições e a abrangência das unidades produtivas, como premissas fundamentais para o êxito da gestão integrada de resíduos sólidos nos municípios.

Rutkowski, Varella e Campos (2014) basearam-se em três categorias, que se remetem à recuperação, revalorização e transformação dos materiais recicláveis como práticas distintas. São elas: REC – Empreendimentos Recuperadores de materiais recicláveis; REV – Empreendimentos Revalorizadores de materiais recicláveis (REV); e TRANS – Empreendimentos Transformadores de matéria-prima reciclada. A categoria REC subdivide-se em Tipo 1 (T1) e Tipo 2 (T2).

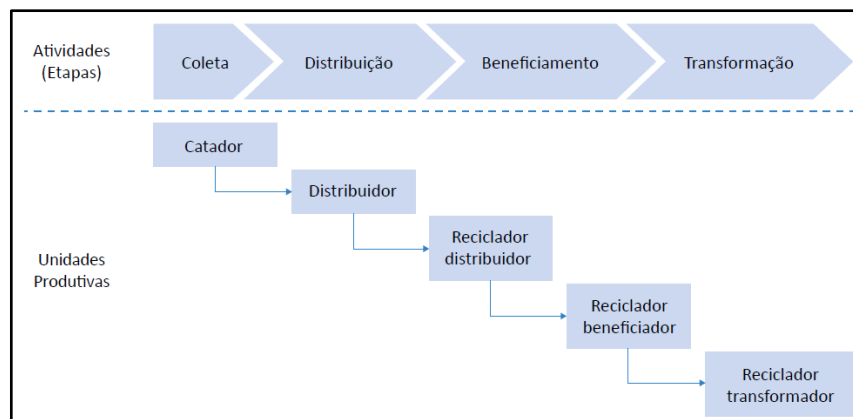
Os integrantes denominados REC são aqueles que recuperam o material reciclável do lixo. O REC T1 fazem a coleta junto aos geradores e executam a primeira triagem. São representados pelas associações e cooperativas de materiais recicláveis, catadores avulsos e pelas unidades de triagem municipais. O REC T2 compreende os agentes intermediários, chamados de atravessadores, aparistas ou sucateiros, os quais compram materiais

selecionados e realizam uma triagem secundária ou classificação (RUTKOWSKI; VARELLA; CAMPOS, 2014).

De acordo com os autores, os revalorizadores (REV) são as indústrias de semimanufaturados que processam ou beneficiam o material, num primeiro momento, transformando-o em insumo produtivo ou matéria-prima secundária para outra indústria. Por fim, as indústrias que empregam estes insumos beneficiados e que, de fato, fabricam novos produtos são ditas transformadoras – indústrias de produtos manufaturados (TRANS).

Conceição *et al* (2016) propuseram uma nova terminologia, combinando os termos distribuidor, beneficiador e reciclador. Além do catador de material reciclável, há o distribuidor, o reciclador-distribuidor, reciclador-beneficiador e o reciclador-transformador. A Figura 18 ilustra esquematicamente, as atividades desempenhadas por cada tipo de unidade produtiva.

Figura 18 – Unidades produtivas correlacionadas às etapas da reciclagem.

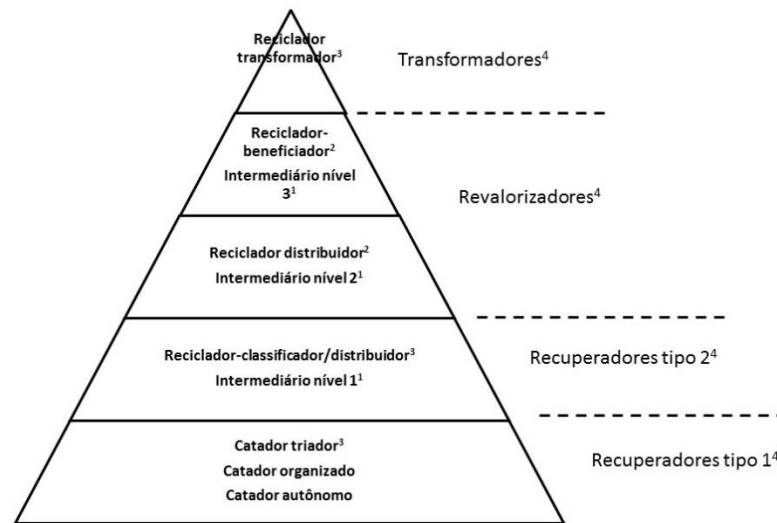


Fonte: (CONCEIÇÃO *et al*, 2016, p. 89).

Em síntese, os distribuidores são as associações, cooperativas e pequenos sucateiros. Os recicladores-distribuidores são os intermediários ou sucateiros, que não fazem o beneficiamento do material, ao contrário dos recicladores-beneficiadores, cujas ações envolvem a moagem. Na ponta da cadeia estão os recicladores-transformadores, agentes que se valem de insumos secundários, parcial ou totalmente, em seus processos produtivos.

Guadagnin *et al* (2018) valeram-se das terminologias contextualizadas acima (AQUINO; CASTILHOS Jr; PIRES, 2009; RUTKOWSKI; VARELLA; CAMPOS, 2014; CONCEIÇÃO *et al*, 2016) e elaboraram a pirâmide hierárquica de integrantes atuantes em Criciúma e região (SC), apresentada na Figura 19, a partir das equivalências encontradas.

Figura 19 – Hierarquia da cadeia de reciclagem em Criciúma (SC) e região.



Fonte: (GUDAGNIN *et al.*, 2018).

A atuação dos recuperadores tipo 1 caracterizam-se pelas práticas comuns à base da cadeia: catação e triagem. Os recuperadores e os revalorizadores atuam como intermediários em três diferentes níveis, de acordo com a proposta de Aquino, Castilhos Jr. e Pires (2009). Os revalorizadores, no entanto, podem atuar como revendedores de material reciclável (reciclador-distribuidor), agregando ou não valor ao produto por meio do seu beneficiamento ou pré-processamento (reciclador-beneficiador).

2.5.2 Cadeia de reciclagem de vidro pós-consumo

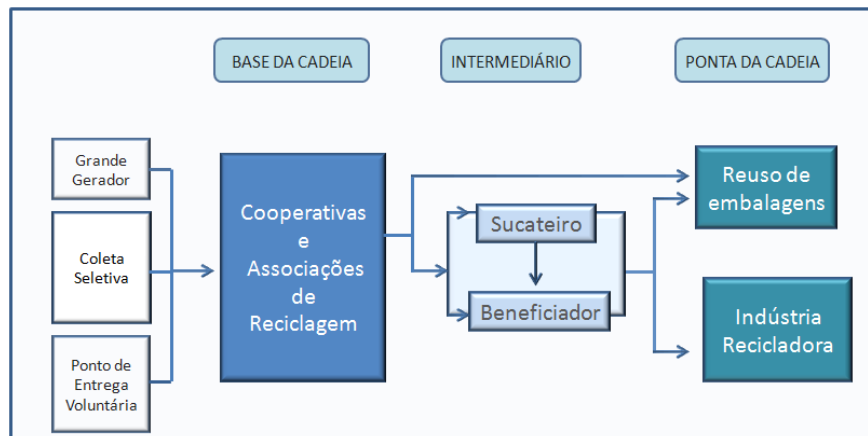
Dentre os materiais potencialmente recicláveis comumente descartados, o vidro apresenta a peculiaridade de poder ser reciclado infinitamente sem perda de suas propriedades. Quando aterrado, entretanto, caracteriza-se por um longo período de decomposição, além de ocupar áreas consideravelmente maiores nos aterros em relação aos demais recicláveis (DIAS; MORAIS; SALES, 2016). Trata-se de um resíduo inerte e de origem variada: domiciliar, domiciliar especial (entulhos, lâmpadas) e especial (indústrias de base e transformação de vidro).

A cadeia de reciclagem do vidro compreende uma cadeia reversa de ciclo aberto, definida por Leite (2003) como aquela em que os insumos são extraídos dos materiais descartados – ou pós-consumo – de diversas naturezas e do mesmo modo, são reintegrados na fabricação de embalagens ou de outros produtos no caso do vidro, por meio da refundição. Compõe-se, em geral, dos mesmos agentes e elos característicos dos demais materiais

recicláveis: atores responsáveis pela coleta, triagem em galpões, beneficiamento, reciclagem e reutilização.

O fluxograma abaixo (Figura 20) foi extraído de Lemos (2012), como resultado de sua pesquisa sobre a cadeia de reciclagem de vidro em Santa Catarina. Observam-se os integrantes por unidade produtiva e as duas rotas características do vidro pós-consumo na unidade de estudo. As associações e cooperativas são alimentadas pelo descarte proveniente da coleta seletiva, de PEV's e de grandes geradores. Os intermediários são representados pelos sucateiros e beneficiadores. Na ponta da cadeia, faz-se a reutilização das embalagens unitárias e a reciclagem do vidro em caco.

Figura 20 – Fluxograma percorrido pelos resíduos vítreos em Santa Catarina.



Fonte: (LEMOS, 2012, p. 74).

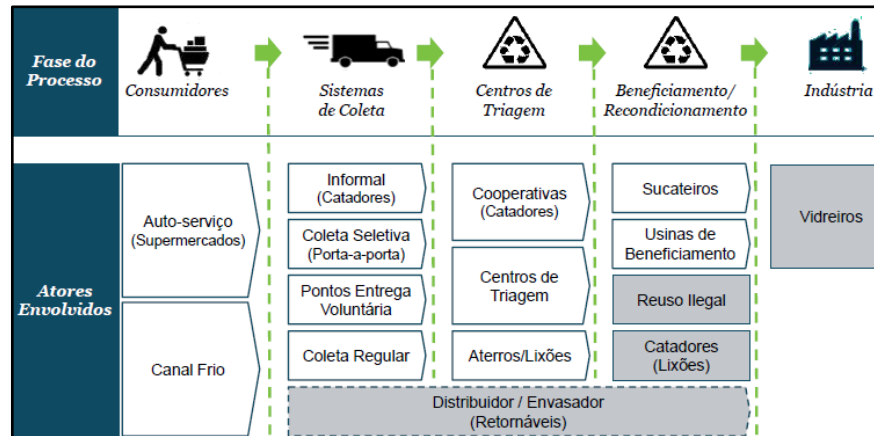
Comparativamente, o fluxograma encontrado no documento da ABIVIDRO – “Proposta da ABIVIDRO para Modelo Nacional de Reciclagem” – também ilustra as duas rotas preponderantes do vidro, atentando para a prática do reuso ilegal das embalagens unitárias e o mercado de falsificação de bebidas (Figura 21). Os produtos de interesse, tendo em vista a rota de reutilização, são conhecidos por “garrafas *premium*” ou “garrafas de bebidas quentes” (ABIVIDRO, 2011; CIRSURES, 2015).

Goulart (2010) pondera que o reuso das embalagens retornáveis de vidro é uma prática bastante adotada, especialmente, pelas indústrias de bebidas. No entanto, deve ser precedida de procedimentos específicos de segurança, nas etapas de lavagem e, sobretudo, de esterilização, cuja temperatura deve atingir 150 °C.

Estima-se que, da totalidade de embalagens retornáveis descartadas, cerca de 20% é reutilizada pela indústria e 33% pelo mercado informal ou caseiro. Quanto ao número de

embalagens reutilizadas, a estimativa mais atualizada é de 2008 e aponta para um montante de 208 mil unidades/ano (ABRELPE, 2012; IPEA, 2012).

Figura 21 – Integrantes da cadeia de reciclagem de vidro, por fase do processo e considerando o reuso ilegal e o mercado de falsificação de bebidas.



Fonte: (ABIVIDRO, 2011, p. 15).

Na etapa correspondente ao beneficiamento ou recondicionamento que antecede a reciclagem propriamente dita, feita pelas vidrarias, citam-se como agentes: sucateiros, beneficiadores, catadores, distribuidores/enasadores. Sob tal perspectiva, são nomenclaturas usuais entre os seus integrantes: “caqueiro” (compra caco sujo), “vidreiro” (compra caco limpo) e “garrafeira” (compra as garrafas *premium*) (ABIVIDRO, 2011).

No que se refere à origem do vidro reciclado no país, o canal frio, representado pelos bares, restaurantes e hotéis, é responsável pelo fornecimento de 10% dos resíduos vítreos. O mercado difuso, cujas relações se estabelecem entre associações, cooperativas e pequenas unidades, contribui com 40%. Cerca de 10% do vidro reciclado é considerado refugio dos processos produtivos e 40% é proveniente da indústria de envase (CEMPRE, 2013).

Logo, nos processos que admitem a incorporação de caco em diferentes quantidades, o vidro é empregado como insumo produtivo. As vidrarias, fabricantes de embalagens diversas, representam os principais compradores e recicladores de resíduos vítreos no país (ABIVIDRO, 2015).

A indústria vidreira pode praticar a reciclagem interna e externa ao seu processo produtivo (GOULART, 2010), no qual parte da matéria-prima virgem é substituída por cacos de vidro triturados – denominados *cullets* (BRASIL, 2018). Uma embalagem de vidro pode ter até 80% de sua composição a base de *cullets* (ABIVIDRO, 2013).

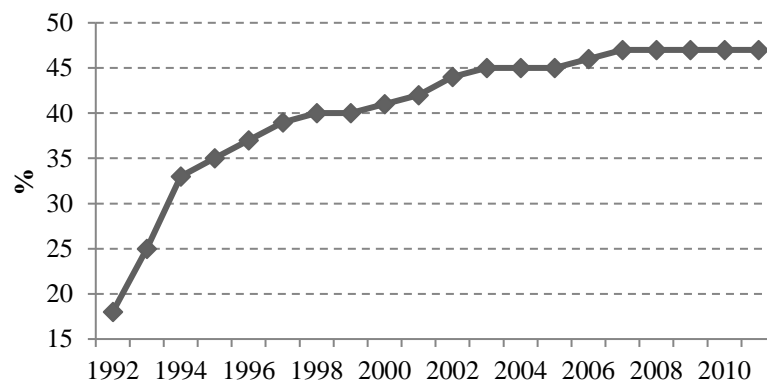
O beneficiamento do vidro para a reciclagem caracteriza-se, usualmente, pelas etapas de segregação (eletroímã e/ou manual), lavagem, trituração e moagem (LEMOS, 2012; ABIVIDRO, 2013). Os cacos, enquanto insumos produtivos, podem ser absorvidos pelas vidrarias para refundição ou transformados em pó de vidro para outras finalidades, dentre as quais, a fabricação de insumos cerâmicos (LEMOS, 2012).

Para tanto, os *cullets* devem estar isentos de impurezas e contaminantes para evitar que os equipamentos sejam danificados ou que o produto final tenha suas características comprometidas. São exemplos de contaminantes: pedras, cerâmica, cristais, refratários e similares, concreto, lâmpadas, vidro plano automotivo, matéria orgânica, metais ferrosos e não ferrosos, vidros farmacêuticos e de laboratório (LEMOS, 2012; ABIVIDRO, 2015).

Os dados sobre a reciclagem de vidro no Brasil não são precisos, tampouco atualizados e se referem somente ao vidro de embalagens. Não há publicações periódicas de indicadores que permitam inferir mais precisamente sobre a reciclagem nesse setor, admitindo os diferentes tipos de vidro produzidos. “Face à deficiência de dados estatísticos e à indisponibilidade de indicadores de desempenho bem consolidados e de fontes confiáveis além da defasagem de informações, tornou-se difícil o acompanhamento do desenvolvimento da indústria vidreira” (BRASIL, 2018, p. 41).

A quantidade de vidro recuperada pelos programas de coleta seletiva no país está estimada em 0,6 kg/hab./ano (IPEA, 2012). Cerca de 47% das embalagens de vidro no país são recicladas, o que corresponde a 470 mil t/ano (BRASIL, 2018). A Figura 22 ilustra a evolução desse percentual.

Figura 22 – Taxa de reciclagem de embalagens de vidro no Brasil, entre 1992 e 2011.



Fonte: Adaptado de (CEMPRE, 2013; BRASIL, 2018, p. 42).

Dados do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2012) indicam que a quantidade de vidro reciclado no país atingiu o montante de 489 mil toneladas – o mais baixo dentre os recicláveis – das quais 50,9 mil foram recolhidas pela coleta seletiva (Tabela 4). Cerca de 11% do vidro que foi reciclado no país chegou aos canais reversos por meio da coleta seletiva formal.

Tabela 4 – Estimativa da participação da coleta seletiva na quantidade reciclada no país.

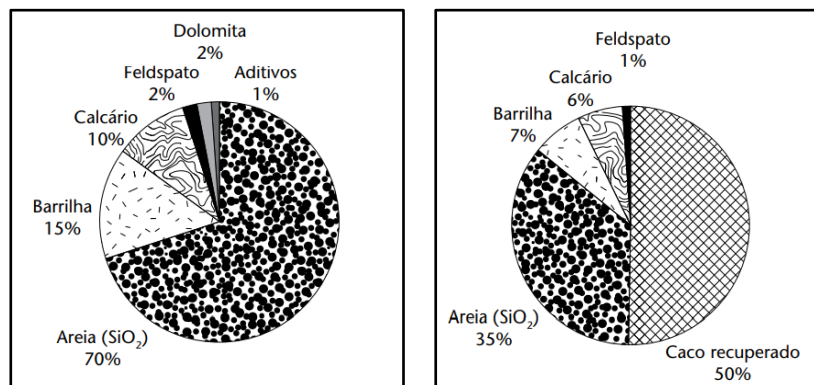
Resíduos	Quantidade reciclada (mil ton./ano)	Quantidade recuperada por programas de coleta seletiva (mil ton./ano)	Participação da coleta seletiva formal na reciclagem total (%)
Metais	9.818,8	72,3	0,7
Papel/papelão	3.827,9	285,7	7,5
Plástico	962,0	170,3	17,7
Vidro	489,0	50,9	10,4

Fonte: (PNRS, 2012, p. 12).

Na União Europeia, os índices médios de reciclagem de vidro já ultrapassam a casa dos 70%, equivalentes a 11 milhões de toneladas ou 25 bilhões de embalagens, com destaque, especialmente, para a Holanda (91%), Suécia (91%), Suíça (94%) e Bélgica (96%) (ACR+, 2012; BRASIL, 2018). Os sistemas de coleta seletiva de vidro foram implementados ainda na década de 1980 e de acordo com diretiva europeia de 2018, a reciclagem de vidro deve alcançar 70% em todos os estados-membros até 2025 (FEVE, 2018; COMISSÃO EUROPEIA, 2018).

No que se refere aos benefícios da reciclagem, a Figura 23 mostra a formulação de um vidro soda-cal, exclusivamente a partir de matérias-primas virgens (à esquerda) e admitindo a incorporação de caco de vidro na sua composição (à direita).

Figura 23 – Composição do vidro soda-cal a partir de matéria-prima virgem e secundária.



Fonte: (GOULART, 2018, p. 152).

O emprego de matéria-prima secundária implica na redução de custos produtivos, principalmente no tocante à aquisição de matéria-prima virgem e à diminuição no aporte de energia (GOULART, 2018). “Para cada tonelada de caco de vidro limpo, obtém-se uma tonelada de vidro novo. Além disso, cerca de 1,2 tonelada de matéria-prima deixa de ser consumida” (GOULART, 2018, p. 156). Enquanto são necessários 2,889 GJ/t para produção de vidro a partir de matérias-primas virgens, exige-se 1,616 GJ/t ao empregar caco como insumo produtivo (AKERMAN, 2014).

Quanto à água, o consumo médio na indústria vidreira é de 1,0 m³/t, podendo reduzir o seu consumo em 10% com a reciclagem (BRASIL, 2018). Para fabricação de vidro sem incorporação de resíduos vítreos, a temperatura de fusão pode alcançar 1.600 °C, enquanto empregando caco na formulação, as temperaturas giram em torno de 1.000 e 1.200°C (GOULART, 2010).

O emprego de vidro pós-consumo na forma de caco contribui para redução da emissão de CO₂ e evita a exploração de novas jazidas. Para cada seis toneladas de vidro reciclado, uma tonelada de CO₂ deixa de ser emitida (ABIVIDRO, 2015). Os ganhos econômicos decorrentes da reciclagem do vidro foram estimados pelo CEMPRE (2013) em R\$ 4,5 mil reais por dia, com uma redução de R\$ 120 para cada tonelada de vidro reciclada.

De todo modo, mesmo diante de tantos ganhos ambientais, o vidro representa um resíduo subaproveitado no país, de baixa rentabilidade para os atores da reciclagem, comparando-o, por exemplo, às latinhas de alumínio ou às garrafas PET (DIAS; MORAIS; SALES, 2016). O valor de venda está na casa de R\$ 0,21 por kg de caco misto; enquanto as latas de alumínio podem chegar a R\$ 3,70/kg (PINTO-COELHO, 2009).

O vidro é um material pesado e frágil, cujo manuseio, nas etapas de coleta, transporte e triagem seja pela equipe de guarnição ou pelos catadores em associações e cooperativas, requer obrigatoriamente o uso de EPI's. O seu armazenamento exige atenção no sentido de evitar contato com o ambiente externo e requer espaço, devendo ser feito em caixas com tampa e que comportem grandes volumes de material. Além disso, a coleta desse material pelo sistema convencional, particularmente, junto à massa misturada de RSU, torna-se mais onerosa:

Na convencional além do custo, ocorre também durante a operação danos as hastes dos cilindros de compactação e transporte dos resíduos, que têm como consequência, além dos custos de manutenção, a parada do coletor por até 01 semana. Na coleta seletiva os vidros impedem que a mesma possa ser realizada utilizando-se de caminhões compactadores, pois a quebra destes causa dificuldade na triagem e acidentes com os triadores (COMCAP, 2013, p. 2).

Somado à baixa rentabilidade e aos riscos com o manuseio, cita-se ainda, a logística de transporte, muitas vezes, inviabilizada pelas distâncias continentais características do Brasil (AKERMAN, 2014). De modo geral, podem ser citados como fatores limitantes que certamente fazem com que o percentual de reciclagem não se eleve: o valor de comércio, o custo com o transporte, os riscos com o seu manuseio e o abastecimento dos canais de falsificação de bebidas (ABIVIDRO, 2011).

As vidrarias estão localizadas, por ordem de concentração, nas regiões sudeste, nordeste e sul, o que viabiliza a reciclagem, desde que em raios mais próximos destes grandes polos. No estudo de Aquino, Castilhos Jr; e Pires (2009) e de Lemos (2012), foram identificados como polos de reciclagem que absorvem o vidro de embalagem descartado no estado de Santa Catarina, os estados do RS, SP e RJ.

A rentabilidade gerada pela comercialização das embalagens, por unidade, comparativamente ao vidro em caco sujo ou limpo, é consideravelmente maior (ABIVIDRO, 2011). Em Santa Catarina, o menor valor de venda se encontra na mesorregião sul catarinense, tanto para o vidro misto, quanto para a embalagem unitária. O quilo do vidro misto é comercializado entre a base da cadeia e o intermediário por R\$ 0,03. Dentre as embalagens, o garrafão de vinho com capa é vendido a R\$ 0,80 e as garrafas de vinho e de cachaça de 1 L são comercializadas entre R\$ 0,07 e 0,15 (LEMOS, 2012).

A capacidade produtiva das indústrias recicladoras entrevistadas por Lemos (2012) é superior a 1 bilhão de peças por ano, admitindo um volume comprado de matéria-prima secundária (caco) de aproximadamente 16,5 mil t/mês. O valor médio de compra varia entre R\$ 0,15 e 0,19/kg. São admitidos todos os tipos de vidro nos processos produtivos. A vidraria localizada no RS, particularmente, admite a incorporação, além do vidro plano e misto, do vidro de espelho e temperado (LEMOS, 2012).

A ABIVIDRO (2011) compartilha os valores usuais de comércio praticados entre os agentes da cadeia de reciclagem. O caqueiro paga para as associações e organizações entre R\$ 0,08 e 0,10/kg de caco sujo. O vidreiro comercializa o quilo do caco limpo entre R\$ 0,12 e 0,20. O preço praticado pelo garrafeiro é muito superior: pode chegar a R\$ 1,70, estimulando o chamado acondicionamento das embalagens e o abastecimento do mercado informal em detrimento da reciclagem propriamente dita, por meio da refundição.

Comparando o preço médio de comercialização entre os estados brasileiros, por meio de pesquisa no banco de dados do CEMPRE (2018), chegou-se a R\$ 0,08/kg. Verificou-se que São Paulo é o estado que mais paga por este material. Em contrapartida, os valores menores são praticados na Região Sul – Rio Grande do Sul e no Paraná – conforme mostra a Tabela 5.

Tabela 5 – Preço de comercialização do vidro limpo em diferentes estados brasileiros.

Estado	Preço médio de comercialização do vidro (R\$/kg)
Rio Grande do Sul	0,04
São Paulo	0,18
Minas Gerais	0,07
Rio de Janeiro	0,06
Santa Catarina	0,08
Paraná	0,05
Média	0,08

Fonte: Elaborado pela autora a partir de (CEMPRE, 2018).

Referente aos requisitos para comercialização do vidro junto aos recicladores, é pertinente destacar o estudo de Guadagnin *et al* (2018), por se ater à cadeia de reciclagem de modo geral, delimitando Criciúma e região (SC) como área de abrangência. Dentre os materiais investigados, os autores pontuaram sobre a inexistência de atores ligados à cadeia do vidro na ocasião de sua pesquisa e mencionaram como entraves, a quantidade disponível e a qualidade do material, replicáveis ao comércio do vidro pós-consumo.

Dentre as condições impostas pelos vidreiros aos intermediários, Aquino, Castilhos Jr. e Pires (2009) citam: a qualidade do material, a quantidade fornecida, a frequência mínima de entrega e a responsabilidade sobre o transporte. Os recicladores toleram até 20% de impurezas no vidro misto comercializado, diante de um fornecimento mensal de no mínimo 50 t/mês, cujo transporte fica a cargo dos fornecedores. Na Europa, o percentual de contaminantes aceitável deve ser inferior a 1% para o vidro transparente. Para as embalagens verde ou âmbar, admite-se entre 3 e 5% de contaminantes (ACR+, 2012).

Quanto às reivindicações da base da cadeia de reciclagem de vidro, foram sinalizados pelas associações e cooperativas entrevistadas por Lemos (2012), além da falta de conscientização e da destinação incorreta, o baixo valor agregado e a alta variabilidade de preço, bem como, a necessidade de armazenamento de volume significativo para venda e o monopólio exercido pelos intermediários.

Sob a ótica dos intermediários, foram mencionados como barreiras, a falta de apoio governamental e de obrigatoriedade junto as grandes empresas do setor, em realizar a

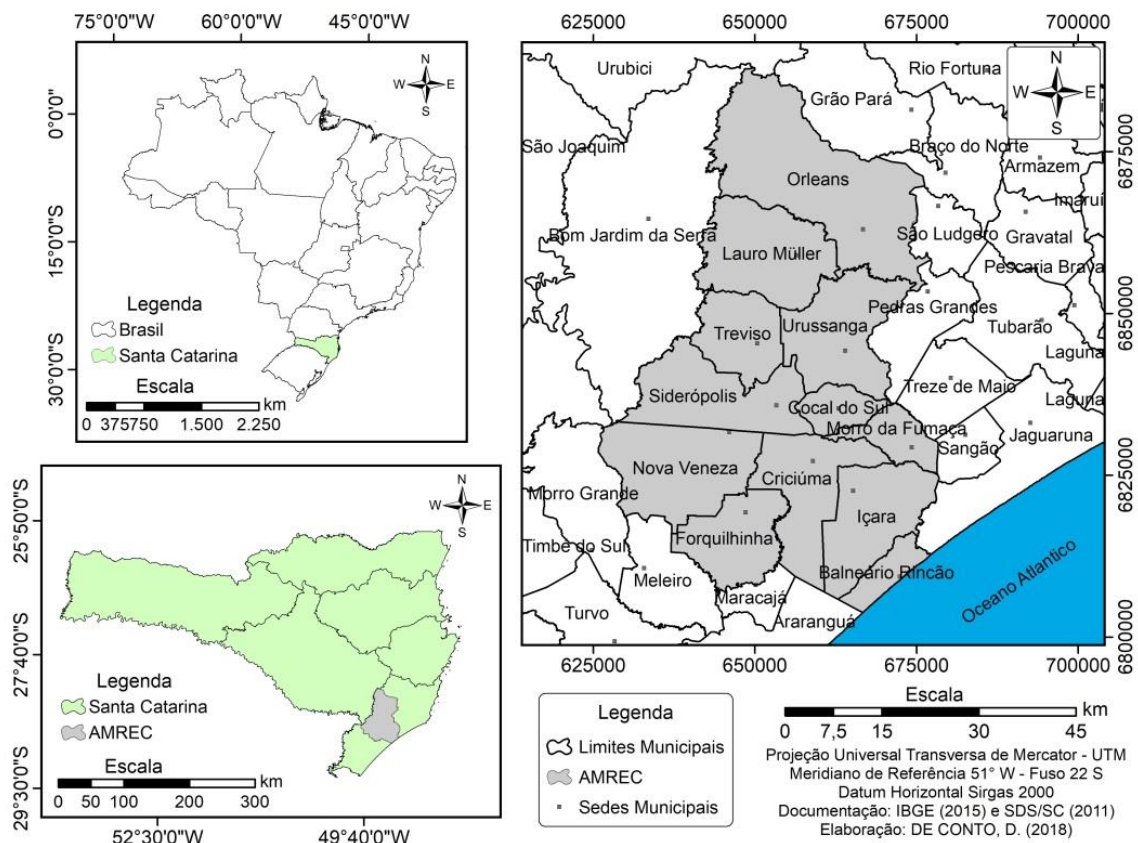
logística reversa. Para estes, há um monopólio das indústrias recicladoras. Por fim, as vidrarias se reportaram à baixa disponibilidade de material de qualidade no mercado, bem como, ao alto custo inerente a logística reversa. A reciclagem não se torna viável, uma vez que o preço dos cacos é igual ou superior ao preço das matérias-primas virgens usualmente empregadas (LEMOS, 2012).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE DE ESTUDO

Os municípios associados à AMREC – Associação dos Municípios da Região Carbonífera – pertencem à Macrorregião Sul Catarinense e integram a 21ª Secretaria de Desenvolvimento Regional do Estado de Santa Catarina, cuja sede é Criciúma. Situam-se no extremo sul catarinense, conforme ilustra a Figura 24.

Figura 24 – Localização da unidade de estudo: a AMREC.



Fonte: LabPGT (2017).

Constitui-se atualmente por 12 municípios – Balneário Rincão, Cocal do Sul, Criciúma, Forquilha, Içara, Lauro Muller, Morro da Fumaça, Nova Veneza, Orleans, Siderópolis, Treviso e Urussanga – com uma população estimada em 430,3 mil habitantes distribuídos em uma área de aproximadamente 2,7 mil km². O município mais recentemente incorporado à associação foi Balneário Rincão, emancipado em 2003 e integrado oficialmente

à AMREC no ano de 2013 (SEBRAE, 2013; IBGE, 2016; SANTA CATARINA, 2016; IBGE, 2017; AMREC, 2018).

A população da AMREC representa aproximadamente 6,2% da população total do estado de Santa Catarina e sua abrangência equivale a cerca de 2,8% do território catarinense. Cerca de 62% da população da região se encontra nos municípios de Criciúma e Içara, que também apresentam os percentuais mais elevados de urbanização e industrialização. Ressalta-se que Criciúma é o 5º município mais populoso entre as 295 cidades do estado (IBGE, 2018). A Tabela 6 apresenta um panorama comparativo de indicadores demográficos em escala regional (AMREC), estadual e nacional.

Tabela 6 – Matriz de indicadores demográficos, por municípios da Região Carbonífera, Santa Catarina e Brasil.

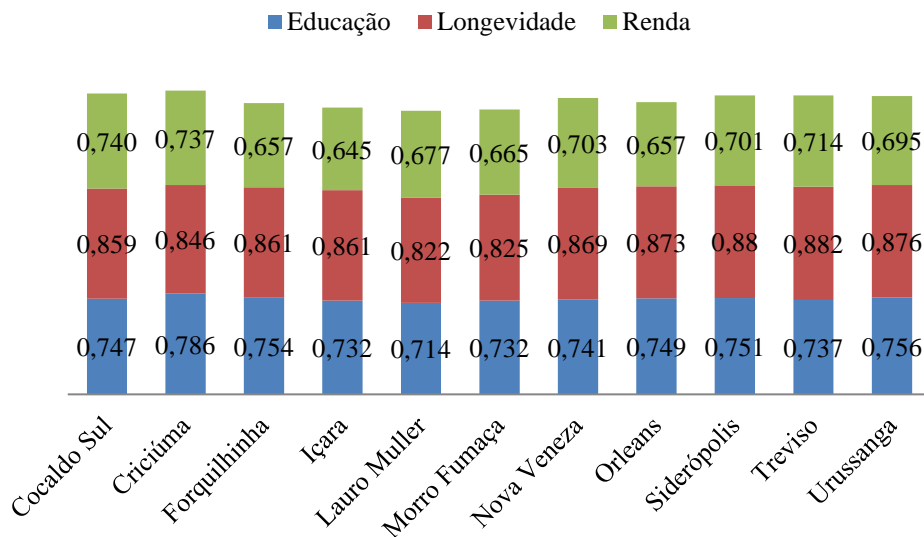
Município	Ano de criação ¹	População estimada ² (hab.)	Taxa de urbanização ³ (%)	Área territorial ⁴ (km ²)	Densidade demográfica ⁵ (hab./km ²)
Balneário Rincão ⁶	2003	12.403	-	64,6	191,9
Cocal do Sul	1991	16.446	84	71,1	231,2
Criciúma	1925	211.369	99	235,7	896,8
Forquilha	1989	25.988	82	183,1	141,9
Içara	1961	54.845	92	228,9	239,6
Lauro Muller	1956	15.149	77	270,8	55,9
Morro da Fumaça	1962	17.532	86	83,1	210,9
Nova Veneza	1891	14.837	67	295,0	50,3
Orleans	1913	22.723	75	548,8	41,4
Siderópolis	1958	13.870	77	261,7	53,0
Treviso	1995	3.863	52	154,1	25,1
Urussanga	1878	21.177	56	254,9	83,1
Cenário		Total	Média	Total	Média
Região Carbonífera		430.202	77,0	2.652,0	185,1
Santa Catarina		7.001.161	84,0	95.737,9	73,1
Brasil		207.660.929	84,0	8.515.759,1	24,4

¹ Ano de criação dos municípios extraído de AMREC (2018); ² População estimada segundo IBGE (2017); ³ Taxa de urbanização conforme IBGE (2010); ⁴ Área territorial segundo IBGE (2016); ⁵ Indicador calculado a partir da população estimada e da área territorial (IBGE, 2016; 2017); ⁶ Foi oficialmente instalado e incorporado à AMREC em 2013. Fonte: Elaborado pela autora a partir dos dados da AMREC e do IBGE.

Analisando o ranking e as faixas usuais de classificação do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM: 0,000 – 0,999), o IDH médio da região (0,762) a coloca numa faixa de alto desenvolvimento humano (0,700 – 0,799), o que sugere uma condição socioeconômica satisfatória para a AMREC, em termos de renda, saúde e educação. Santa Catarina (0,774) é o terceiro colocado entre os estados brasileiros. Criciúma ocupa a 76ª posição, enquanto Lauro Muller, que possui o menor IDHM da AMREC, está no 897º lugar entre 5.565 municípios participantes do ranking nacional (PNUD, 2010).

A Figura 25 apresenta a situação de cada município em função dos parâmetros que contribuem para o cálculo do IDHM. Não há variações significativas individualmente que permitam inferir que um município é mais desenvolvido do que o outro. De todo modo, o indicador que mais se sobressaiu está associado à saúde ou longevidade dos habitantes, enquanto os valores menos expressivos caracterizam-se pelos dados relacionados à renda. De modo geral, Criciúma e Cocal do Sul detêm o IDHM mais elevado, enquanto Lauro Muller e Içara ocupam as últimas posições no ranking regional.

Figura 25 – Panorama dos municípios da Região Carbonífera em relação aos parâmetros que compõem o IDHM.



Fonte: Elaborado pela autora a partir de (PNUD, 2010).

De acordo com a Tabela 7, no que se refere ao PIB, Criciúma e Içara concentram os valores mais elevados de produtividade econômica da Região Carbonífera, respondendo por cerca de 61,9% do PIB da AMREC e representando a sétima e a 85ª maiores economias de Santa Catarina, respectivamente. A movimentação gerada na AMREC em 2015 foi de aproximadamente R\$ 14 bilhões de reais, equivalentes a aproximadamente 4,2% do PIB estadual (IBGE, 2015).

Considerando as 36 agências regionais de Santa Catarina e o Índice de Competitividade Regional (ICR-SC)¹ atribuído pelo Governo do Estado a cada agência, a Microrregião de Criciúma possui a 6ª economia mais competitiva de Santa Catarina, proveniente em sua maioria, dos setores secundário e terciário (SANTA CATARINA, 2016).

¹ O Índice de Competitividade Regional (ICR-SC) é um parâmetro criado pelo governo do Estado de Santa Catarina, com uma metodologia idêntica à construção do IDH, que classifica os municípios em relação a uma ampla gama de fatores: sociais, econômicos, ambientais e institucionais. Tem como objetivo, identificar os pontos fortes e fracos das regiões administrativas estaduais (SANTA CATARINA, 2016, p. 12).

No que se refere ao PIB *per capita*, os habitantes com maior potencial de produtividade econômica encontram-se nos municípios de Treviso (R\$ 64,8 mil reais) e Nova Veneza (R\$ 43,2 mil reais), os quais ocupam, respectivamente, a 8ª e a 93ª posição no cenário estadual. Balneário Rincão e Lauro Muller, em contrapartida, registram os valores mais baixos entre os municípios da região. Para os demais, a renda *per capita* varia entre R\$ 29,2 mil e R\$ 37,2 mil reais (IBGE, 2015). Considerando o ranking ICR-SC para o PIB *per capita*, a Microrregião de Criciúma está classificada na 23ª posição, entre as 36 unidades administrativas do estado.

Tabela 7 – Matriz de indicadores socioeconômicos, por municípios da Região Carbonífera, Santa Catarina e Brasil.

Município	IDHM ¹	PIB ² (X milhões R\$)	PIB <i>per capita</i> ² (R\$)
Balneário Rincão	-	183.798,00	15.293,60
Cocal do Sul	0,780	600.903,93	37.193,86
Criciúma	0,788	6.935.755,11	33.519,34
Forquilha	0,753	733.330,64	29.182,64
Içara	0,741	1.719.471,53	32.354,34
Lauro Muller	0,735	276.413,17	18.432,46
Morro da Fumaça	0,738	622.568,48	36.168,51
Nova Veneza	0,768	625.473,94	43.225,57
Orleans	0,755	825.618,01	36.777,50
Siderópolis	0,774	484.133,94	35.374,39
Treviso	0,774	245.374,13	64.828,04
Urussanga	0,772	732.852,49	34.892,75
Cenário	Média	Total	Média
Região Carbonífera	0,762	13.985.693,81	34.759,11
Santa Catarina	0,774	249.072.000,00	36.525,00
Brasil	0,754	5.995.786.999,99	29.321,71

¹ IDHM extraído de PNUD (2010); ² PIB e PIB *per capita* segundo IBGE (2015).

Fonte: Elaborado pela autora a partir de PNUD e IBGE.

O Estado de Santa Catarina, de modo geral, caracteriza-se por um parque industrial bastante diversificado. Na região de Criciúma o setor carbonífero cedeu espaço para a estruturação de outros segmentos produtivos (GOULART FILHO, 2002; MONTIBELLER-FILHO, 2009). Os arranjos característicos do eixo Criciúma-sul estão ligados à indústria cerâmica – mais expressivamente ao segmento de revestimentos – ao setor mineral, químico, de confecções de artigos do vestuário e de descartáveis plásticos (MILIOLI *et al.*, 2002; SEBRAE, 2013; FIESC, 2015).

Destaca-se, no entanto, que muitos municípios da Região Carbonífera se desenvolveram e ainda se mantêm a partir da atividade carbonífera e, conseqüentemente, exibem áreas profundamente impactadas pela forma predatória como a exploração mineral se

dava até a década de 1980. Os danos se estendem por toda a bacia hidrográfica, uma vez que, apesar dos esforços de reabilitação e compensação, comprometeram de forma irreversível, sobretudo, os rios e o solo da região (MILIOLI, 1995; LOPES; SANTO; GALATTO, 2009).

De todo modo, com base no ranking estadual de sustentabilidade ambiental, o ICR-SC da Microrregião de Criciúma a classifica na sétima posição entre as 36 regiões administrativas (SANTA CATARINA, 2016). Notadamente, tal parâmetro não leva em conta o estado de conservação ou de comprometimento dos recursos naturais e das matrizes ambientais de cada região, mas tão somente o provimento de serviços essenciais de saneamento básico.

Enquanto a taxa de cobertura dos serviços de abastecimento de água e de coleta de resíduos se aproxima dos 95% em relação à população total, a abrangência do esgotamento sanitário não ultrapassa 19%. A região está bem colocada nos parâmetros relativos à existência de órgãos gestores, conselhos e planos municipais de meio ambiente. Contudo, o indicador que mais desfavorece a AMREC, e a coloca na 32ª posição, sinaliza para um baixo número de funcionários atuantes na área ambiental (SANTA CATARINA, 2016).

Dessa forma, embora alguns indicadores sinalizem para uma boa qualidade de vida na região, muito já se perdeu por conta do modelo extrativista e imediatista praticado ao longo de décadas. E mesmo que a atividade carbonífera não configure mais a alavanca da economia regional e que os municípios estejam habilitados para licenciar e fiscalizar atividades de impacto ambiental local, os arranjos ora praticados também se baseiam essencialmente na exploração de recursos naturais não renováveis, como é o caso da indústria de revestimentos cerâmicos. Esse setor representa um pólo bastante consolidado na região e cuja cadeia produtiva está ligada às empresas fornecedoras de insumos cerâmicos.

3.2 NATUREZA DA PESQUISA

A pesquisa caracteriza-se simultaneamente pelas abordagens quantitativa e qualitativa, conforme mostra o detalhamento do Quadro 4. O cumprimento da maioria dos objetivos propostos foi possível mediante análise de variáveis quantitativas, que embora expressas numericamente por meio de diversos indicadores, foram geradas e representam o recorte espacial delimitado pela Região Carbonífera Catarinense, porquanto não podem ser analisados de forma isolada ao contexto do qual derivam.

A pesquisa qualitativa é essencialmente interpretativa e inclui, para tanto, a descrição de um cenário, a análise de dados para identificar temas ou categorias e, por fim, chegar a

constatações sobre seu significado a partir da interpretação (CRESWELL, 2007). O sujeito-observador é parte integrante do processo, interpretando os fenômenos e atribuindo-lhes um significado (CHIZZOTTI, 1991).

A abordagem quantitativa está atrelada ao objetivo que contempla a apresentação de uma alternativa técnica de reciclagem do vidro plano laminado automotivo, com aplicação na fabricação de insumos cerâmicos. Foram produzidas em laboratório, amostras de peças cerâmicas esmaltadas, admitindo a incorporação de resíduo, cujas propriedades foram mensuradas, comparadas entre si e com amostras de peças fabricadas a partir de matérias-primas virgens, com formulações comerciais.

Quadro 4 – Caracterização da pesquisa em relação à abordagem e à fonte de dados.

Objetivo	Abordagem/ Natureza	Fonte de dados/Principal instrumento de coleta
Caracterizar o manejo de RSU com enfoque na coleta seletiva e no potencial de geração e valorização dos resíduos vítreos no âmbito da AMREC;	Qualitativa, Exploratória.	Pesquisa bibliográfica, documental, de campo; entrevista semi-estruturada.
Identificar e caracterizar a atuação dos integrantes da cadeia de reciclagem de vidro pós-consumo e mapear o fluxo do material vítreo descartado na unidade de estudo;	Qualitativa, Exploratória.	Pesquisa bibliográfica, documental, de campo; entrevista semi-estruturada.
Analisar a viabilidade técnica da reciclagem de um tipo específico de vidro: laminado automotivo, com aplicação pela indústria de insumos e revestimentos cerâmicos;	Quantitativa, Explicativa.	Pesquisa de laboratório/experimental; observação.
Verificar a quantidade descartada e a destinação do vidro laminado automotivo pós-consumo na unidade de estudo;	Qualitativa, Exploratória.	Pesquisa de campo, conversa informal.
Apontar alternativas/caminhos para otimizar os canais reversos da reciclagem de vidro pós-consumo na região sob a perspectiva da economia circular.	Qualitativa, Exploratória.	Pesquisa bibliográfica e documental.

Fonte: Elaboração própria.

Com base nos objetivos e levando em conta ambas as abordagens utilizadas, a pesquisa é exploratória e explicativa. Sobre a pesquisa exploratória, Gil (2007) afirma que seu objetivo principal é o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições. Na maioria dos casos, envolvem levantamento bibliográfico e entrevistas. Por consequência, é comum assumir o método de estudo de caso. As pesquisas explicativas, no entanto, baseiam-se em dados quantitativos, obtidos por meio de procedimentos experimentais.

Portanto, com base nos procedimentos técnicos utilizados, os objetivos foram alcançados por meio de pesquisa bibliográfica, documental, de campo, eletrônica e experimental. Ademais, considerou-se tratar-se de um estudo de caso, por retratar o cenário característico da Região Carbonífera, representado pela sua população e pelos integrantes da cadeia de reciclagem de vidro com atuação direta e indireta na área de abrangência da AMREC.

O estudo de caso caracteriza-se pela coleta e registro de dados de um caso em particular, ou de vários casos com a finalidade de organizar um relatório ordenador e crítico de uma experiência, com o propósito último de tomada de decisão ou de proposição de uma ação transformadora. Acredita-se que a análise de uma unidade de determinado universo permite a compreensão da sua generalidade ou a identificação de bases creditáveis para nortear uma investigação futura (CHIZZOTTI, 1991; GIL, 1994).

Quanto ao estudo de campo, é por meio dele que se busca o aprofundamento das questões propostas. Parte-se da observação direta do grupo estudado, prosseguindo com a aplicação de entrevistas junto aos informantes para que suas explicações e interpretações sejam captadas (GIL, 2007). O principal objetivo consiste na obtenção de informações ou conhecimentos sobre um determinado problema, para elucidar possíveis respostas, subsidiar a formulação de hipóteses ou descobrir novos fenômenos e suas inter-relações (MARCONI; LAKATOS, 2010).

Em relação à pesquisa experimental ou de laboratório, Marconi e Lakatos (2010) a consideram um procedimento de investigação mais difícil, entretanto, mais exato, que analisa o que ocorre com o objeto de pesquisa em situações controladas.

3.3 COLETA E SISTEMATIZAÇÃO DOS DADOS

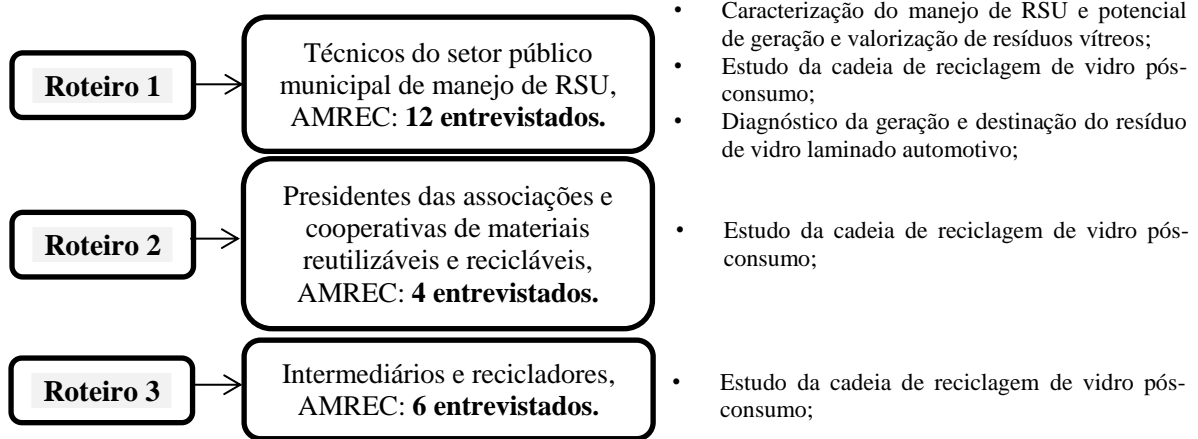
Dentre os instrumentos citados por Marconi e Lakatos (2010) para a coleta de dados no âmbito da pesquisa qualitativa, foram empregadas: a coleta documental e a entrevista. Segundo Triviños (1981), o pesquisador qualitativo apoia-se em métodos e técnicas que ressaltam sua implicação e daquele que fornece as informações.

Diante dos objetivos que se inserem na abordagem qualitativa, definiu-se como ponto de partida, contatar os setores públicos municipais de manejo de resíduos sólidos no âmbito da AMREC, incluindo secretarias e fundações de meio ambiente, com o propósito de verificar a existência de coleta seletiva, de alternativas de destinação dos recicláveis, bem como, de empresas de beneficiamento e reciclagem de vidro em operação em cada uma das cidades.

A partir dessas fontes foi possível mapear a existência de associações e cooperativas de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis, bem como verificar a existência de empresas ou atores ligados à cadeia de reciclagem de vidro pós-consumo, incluindo a identificação de fontes potencialmente geradoras de resíduos de vidro laminado automotivo.

A Figura 26 ilustra o número de roteiros e sujeitos entrevistados e os relaciona aos objetivos para os quais foram produzidos dados e informações.

Figura 26 – Número de roteiros de entrevistas, sujeitos de pesquisa e objetivos contemplados.



Fonte: Elaboração da autora.

Marconi e Lakatos (2010, p. 178) citam como instrumento de coleta de dados na pesquisa experimental, a observação. “É importante estabelecer condições o mais próximo do natural, que não sofram influências indevidas, pela presença do observador ou por seus aparelhos de medição e registro”.

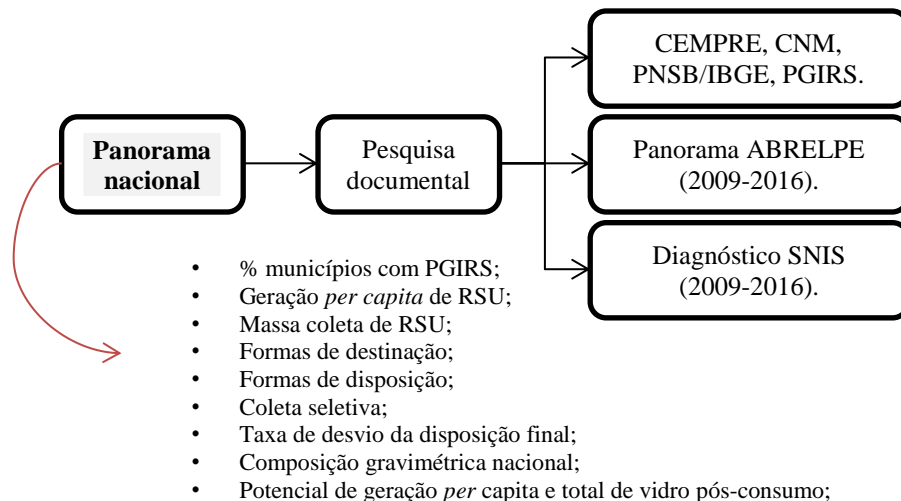
Logo, a presente pesquisa baseou-se em dados primários, obtidos por meio de pesquisa de campo (entrevistas e visitas *in loco*) e de laboratório e secundários, obtidos por meio de consultas em documentos de acesso público, sobretudo presentes nos planos de gestão de resíduos.

As subseções a seguir apresentam o detalhamento dos procedimentos de coleta de dados para cada objetivo específico. Posteriormente à coleta de dados, procedeu-se com a sua sistematização, gerando tabelas, quadros e gráficos. Ademais foram elaboradas representações cartográficas e fluxogramas com o intuito de facilitar a visualização e correlação dos dados encontrados.

3.3.1 Diagnóstico do manejo de RSU e potencial de geração e valorização dos resíduos vítreos

Optou-se por caracterizar a geração e a destinação dos RSU, com ênfase na coleta seletiva e no potencial de geração e valorização de resíduos vítreos, contextualizando os cenários nacional e regional. O panorama nacional foi elaborado a partir de consulta, sobretudo, aos documentos da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) e do Sistema Nacional sobre Saneamento (SNIS). Considerou-se o intervalo de tempo entre os anos de 2009 e 2016; retratando, portanto, o cenário característico da gestão de RSU no país após a instituição da PNRS. A Figura 27 mostra as fontes de pesquisa documental e os indicadores consultados e calculados.

Figura 27 – Fontes de pesquisa documental e indicadores consultados/calculados para a elaboração do panorama nacional.



Fonte: Elaboração da autora.

A produção de dados estatísticos nacionais sobre resíduos sólidos é proveniente de bases de instituições diversas: IBGE, IPEA, CEMPRE, ABRELPE, SNIS (FRANCESCHI *et al*, 2016). No entanto, por meio dos panoramas da ABRELPE e dos diagnósticos do SNIS, divulgados e atualizados anualmente, foi possível verificar a evolução temporal dos inúmeros indicadores ligados ao manejo de resíduos sólidos no país e analisar a geração e a efetividade das rotas de destinação e valorização adotadas.

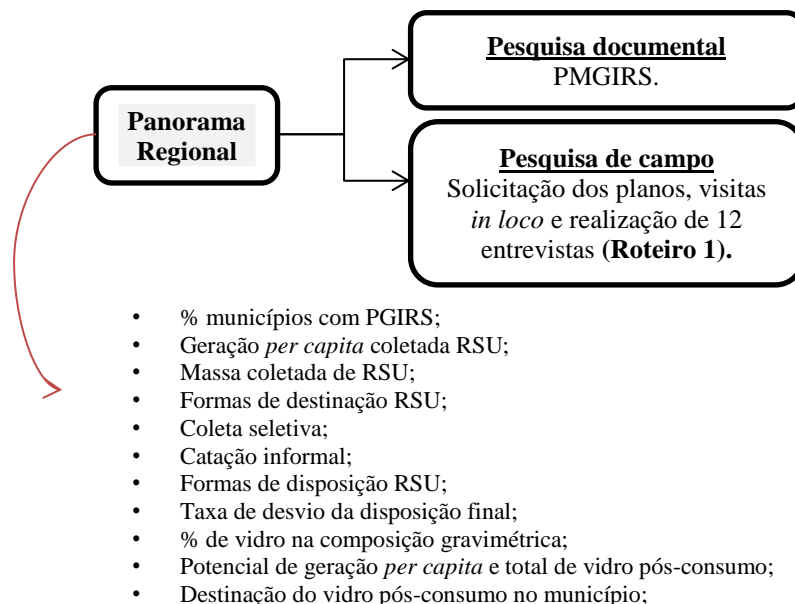
Em relação à ABRELPE e ao SNIS, definidos como principais fontes de coleta de dados em âmbito nacional, cabe ressaltar algumas particularidades. A ABRELPE é uma associação privada, fundada em 1976 por empresários ligados às atividades de coleta e

transporte de resíduos sólidos. A primeira edição do “Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil” foi lançada em 2003 e a versão mais atualizada é de 2017 (ABRELPE, 2018).

Quanto ao SNIS, a responsabilidade pelo “Diagnóstico de Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos” fica a cargo do Ministério das Cidades, cujo levantamento de dados iniciou em 2002 (FRANCESCHI *et al*, 2016; SNIS, 2018). Logo, embora existam versões anteriores a 2009 para ambos os documentos, verificou-se a presença de dados primários mais representativos a partir desse período e por isso, a definição do intervalo temporal entre 2009 e 2016.

No que se refere ao panorama regional, os dados foram obtidos por meio de consulta aos planos municipais de gestão e através das entrevistas. Inicialmente, fez-se contato com os órgãos de manejo de resíduos municipais, via telefone, por endereço eletrônico ou pessoalmente, quando necessário, solicitando acesso ao PMGIRS. Para um único município (Forquilha) foi necessário protocolar uma solicitação formal junto à prefeitura e aguardar o deferimento do processo. A Figura 28 mostra a forma de coleta de dados para elaboração do diagnóstico de geração e destinação de RSU no âmbito da AMREC.

Figura 28 – Fontes de pesquisa documental e indicadores consultados/calculados para a elaboração do panorama regional.



Fonte: Elaboração da autora.

A pesquisa documental foi conduzida a partir da análise de nove planos, os quais apresentam o cenário vigente e as perspectivas para manejo de resíduos sólidos de 11 municípios, admitindo a inexistência do plano de Balneário Rincão e a aprovação de um plano

em caráter intermunicipal – que abrange seis cidades, por disporem seus resíduos de forma consorciada. Salienta-se que os planos de Forquilha, Nova Veneza e do CIRSURES são documentos únicos – possuem conteúdo simplificado. Os planos dos municípios de Criciúma, Içara e Siderópolis estão desmembrados em volumes, conforme as metas propostas.

Num segundo momento, após o recebimento e análise prévia dos planos, foram entrevistados profissionais atuantes na área de investigação, vinculados aos órgãos públicos municipais (11 fundações ambientais e uma secretaria), com o objetivo de elucidar, complementar e/ou atualizar dados disponíveis nos PMGIRS. Salienta-se que representantes de todos os municípios foram entrevistados, totalizando, portanto, 12 sujeitos de pesquisa.

Para o cálculo da geração total de RSU no âmbito da AMREC, levou-se em consideração a geração *per capita* e o número de habitantes de cada município, presentes nos planos intermunicipal e no relatório de atividades publicado periodicamente pelo CIRSURES (CIRSURES, 2013; CIRSURES, 2018), bem como, nos documentos de Criciúma, Içara e Siderópolis, além das estimativas populacionais do IBGE (CIRSURES, 2013; CRICIÚMA, 2016; IÇARA, 2016; SIDERÓPOLIS, 2016; IBGE, 2018).

Calculou-se a taxa de desvio do lixo, para os cenários nacional e regional a partir de indicadores presentes nos planos nacional e municipais (BRASIL, 2012; CRICIÚMA, 2016; IÇARA, 2016; SIDERÓPOLIS, 2016), empregando-se a fórmula descrita por Vilhena; D’Almeida (2018, p. 79), onde o percentual de material desviado do aterro é obtido por meio da razão entre a quantidade de material recolhido pela coleta seletiva e a soma das quantidades recolhidas pela coleta seletiva e regular. O valor obtido é multiplicado por 100.

A estimativa do potencial de geração de resíduos vítreos, tanto no panorama nacional quanto regional, baseou-se nas metodologias da Autarquia de Melhoramentos da Capital (COMCAP, 2013) e do Consórcio Intermunicipal de Resíduos Sólidos Urbanos da Região Sul (CIRSURES, 2015) que por sua vez, levam em conta o percentual de vidro na composição gravimétrica da unidade de análise.

A composição física ou gravimétrica expressa o percentual de cada componente (matéria orgânica, papel, plástico, metal, vidro, diversos/rejeito) em relação ao peso total da amostra de lixo analisada (JARDIM *et al*, 2000). No Brasil o percentual de vidro presente na massa descartada de RSU é de 2,4% (PNRS, 2012). Em relação ao panorama regional, notadamente, cada município detém uma geração e um percentual específicos. Em média, diante da totalidade de RSU descartada no âmbito da AMREC, tem-se 4,0% de resíduos vítreos.

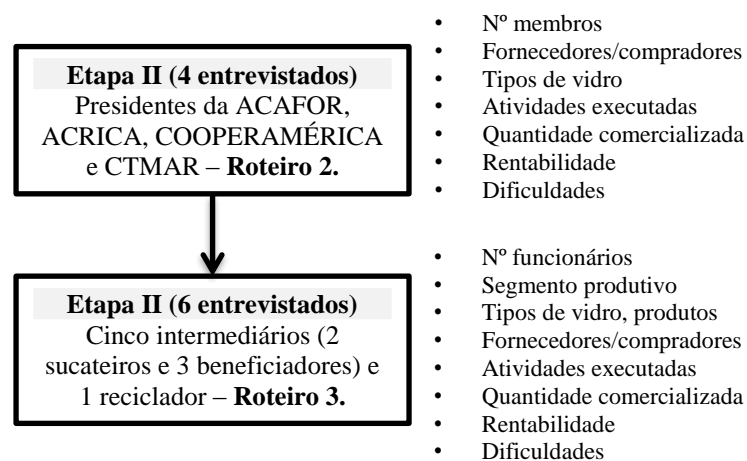
3.3.2 Cadeia de reciclagem de vidro pós-consumo

A pesquisa de campo para obtenção dos dados relativos ao estudo da cadeia de reciclagem de vidro pós-consumo na Região Carbonífera deu-se em três etapas consecutivas, complementadas pela pesquisa documental (consulta aos PMGIRS) e eletrônica (*Google*, banco de dados do CEMPRE).

Conforme mencionado anteriormente, contribuíram para a geração de dados que atendessem a esse objetivo 22 sujeitos de pesquisa, por meio de três roteiros de entrevista semi-estruturada (APÊNDICE 1). A partir de cada etapa foi possível mapear os possíveis agentes integrantes da cadeia de reciclagem de vidro e identificar o fluxo dos resíduos vítreos descartados no âmbito da AMREC, desde a base até o topo.

Os roteiros foram construídos e modificados, na medida em que os atores foram gradativamente sendo encontrados. Partiu-se da base da cadeia sem saber se os integrantes do topo em algum momento seriam apontados ou mesmo se seria possível contar com aceite de representantes de todos os estágios. A Figura 29 ilustra os atores entrevistados, atuantes nos canais reversos de vidro pós-consumo, e os dados coletados.

Figura 29 – Sujeitos de pesquisa entrevistados atuantes direta e indiretamente na cadeia de reciclagem de vidro pós-consumo no âmbito da AMREC; e dados coletados.

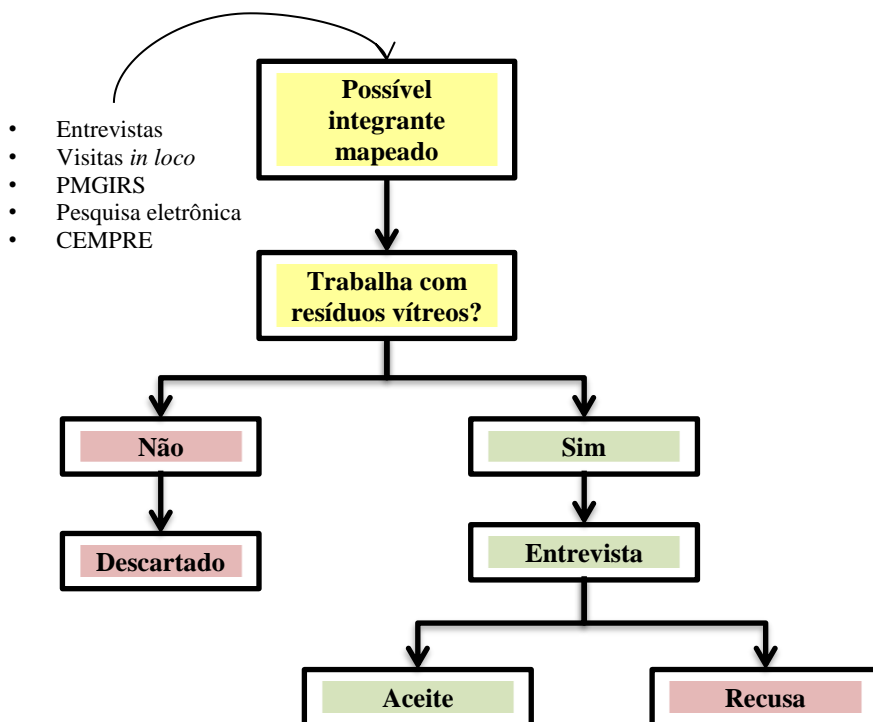


Fonte: Elaboração da autora.

Na etapa I foram entrevistados 12 profissionais atuantes na área de resíduos – um representante de cada município – alocados em órgãos públicos municipais. Na etapa II, contou-se com a colaboração dos presidentes das associações e cooperativas de catadores em operação na região. Na etapa III foram entrevistados intermediários e recicladores, mapeados através das etapas I e II.

Na medida em que os atores foram sendo apontados nas entrevistas, encontrados nos planos (PMGIRS), no banco de dados do CEMPRE ou através das visitas *in loco*, procedeu-se com as tentativas de contato por telefone ou pessoalmente. Ao responderem afirmativamente sobre a atuação com resíduos de vidro, fez-se o convite para que contribuíssem formalmente por meio de entrevista, procedendo com o agendamento (Figura 30).

Figura 30 – Esquema de condução da pesquisa, a partir do mapeamento dos possíveis integrantes da cadeia de reciclagem de vidro pós-consumo, AMREC.



Fonte: Elaboração da autora.

No caso de atores encontradas em outros Estados, solicitou-se que a entrevista fosse feita por telefone e em último caso, enviada por endereço eletrônico. Salienta-se que os registros fotográficos seriam de grande valia para expor a infraestrutura e os procedimentos adotados pelos sujeitos de pesquisa, no entanto, muitos deles não autorizaram fazê-los.

Em relação aos dados provenientes do banco de dados do CEMPRE, foi possível buscar por integrantes da cadeia de reciclagem de vidro, delimitando as seguintes áreas de abrangência: o Brasil; e os estados de SC, RS, RJ e SP, por representarem os polos de reciclagem que absorvem o vidro descartado em Santa Catarina, de acordo com Aquino, Castilhos Jr; e Pires (2009) e Lemos (2012).

De posse dos dados, foi possível classificar cada integrante, levando em consideração nomenclaturas utilizadas por autores que se dedicaram a estudos similares (AQUINO; CASTILHOS Jr; PIRES, 2009; LEMOS, 2012; RUTKOWSKI; VARELLA; CAMPOS, 2014; VILHENA, 2014; CEMPRES, 2014; CONCEIÇÃO *et al*, 2016; GUADAGNIN *et al*, 2018), e construir a rota característica dos resíduos de vidro na Região Carbonífera, ou seja, descrever a estrutura atual da cadeia de reciclagem deste material na unidade de estudo.

Os dados foram sistematizados e apresentados por meio de fluxogramas, representações cartográficas (Datum SIRGAS 2000), incluindo quadros e tabelas. Optou-se por identificá-los ao longo do texto através de uma classificação mais simples, embasada em Lemos (2012) e Vilhena (2014), citando também o município ou estado onde o mesmo se localiza (Quadro 5).

Quadro 5 – Legenda de identificação dos integrantes mapeados, de acordo com a localização na cadeia de reciclagem do vidro pós-consumo na AMREC, e conforme o tipo de vidro que recebe ou comercializa.

Nº	Integrante mapeado		Tipo de vidro
1	ACAFOR, Forquilha.		VM+E
2	ACRICA, Criciúma.		VM+E
3	COOPERAMÉRICA, Urussanga.		VM+E
4	CTMAR, Criciúma.		VM+E
5	Catador AUTÔNOMO, Morro da Fumaça (SC).		VM+E
6	Sucateiro, Morro da Fumaça (SC).		VM+E
7	Beneficiador, Cocal do Sul (SC).		E+VP+VT
8	Sucateiro, Içara (SC).		VM+E
9	Beneficiador, Içara.		VP+VT
10	Reciclador, Içara (SC).		VP+VT
11	Beneficiador, RS.		VM+VP
12	Reciclador, Morro da Fumaça (SC).		VM
13	Sucateiro, Criciúma (SC).		E
14	Sucateiro, Treze de Maio (SC).		E
15	Sucateiro, Içara (SC).		E
16	Sucateiro, Urussanga (SC).		VP
17	Reciclador (multinacional), RS.		VM+VP
18	Reciclador (nacional), SP.		VM
19	Reciclador (multinacional), SP.		VM
20	Reciclador, Morro Grande (SC).		E+VP+VT
	Base da cadeia	VM	Vidro Misto
	Intermediário	E	Embalagem unitária
	Topo da cadeia	VP	Vidro Plano
		VT	Vidro Técnico

Fonte: Elaborado pela autora.

Na base da cadeia encontram-se os catadores autônomos, associações e cooperativas de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis. Os intermediários subdividem-se entre sucateiros e beneficiadores, de modo que a diferença entre ambos atribui-se à etapa de

processamento (em geral, a moagem) realizada pelos beneficiadores. No topo, situam-se os recicladores que empregam vidro misto ou beneficiado, procedendo com a sua refundição.

Nas representações cartográficas, os atores mapeados foram enumerados de P01 a P20, de acordo com a ordem em que foram sendo encontrados. Nos quadros e nos fluxogramas, utilizou-se uma legenda específica, conforme mostra o Quadro 5. Os integrantes foram classificados de acordo com a posição na cadeia de reciclagem, visualmente, através das cores: verde (base), amarelo (intermediários) e vermelho (topo). Do mesmo modo, empregou-se siglas para identificar os tipos de vidro com os quais os mesmos trabalham.

Cabe destacar que mesmo diante do ocorrido em junho de 2018 com uma das cooperativas analisadas, a CTMAR (DUARTE, 2018), acometida por um incêndio que comprometeu toda a sua infraestrutura e a impossibilitou de continuar com suas atividades, os resultados apresentados na tese expressam a contribuição do seu presidente, entrevistado em 2017.

3.3.3 Diagnóstico da geração e destinação dos resíduos de vidro laminado automotivo em Criciúma e região (SC)

Inicialmente, foram identificadas as fontes potencialmente geradoras de resíduo de vidro laminado automotivo na cidade de Criciúma e região, por meio de ferramentas de busca *online*, contato telefônico e visitas *in loco*, com o objetivo de estimar a quantidade descartada e as formas de destinação adotadas.

Estes dados foram coletados em dois momentos: no primeiro (2015) e no penúltimo ano do doutorado (2017). A primeira coleta foi realizada com o propósito de delinear e justificar o projeto de pesquisa na ocasião da apresentação da qualificação; e a segunda, de redefinir a área de abrangência e verificar se houve modificação alternativa de destinação anteriormente mencionada.

A primeira coleta de dados foi baseada fundamentalmente em pesquisa *online* e contato telefônico. As visitas *in loco*, particularmente, foram realizadas no ano de 2017. Considerando a região da AMREC como área de estudo, protocolou-se junto aos setores de concessão de alvarás das prefeituras municipais, uma solicitação de contato e localização dos empreendimentos que possuem inscrição jurídica em atividades associadas à geração, destinação e descarte do vidro de para-brisas. São elas: chapeações, comércios de peças de veículos, oficinas mecânicas, ferros-velhos, concessionárias, seguradoras de veículos, comércio de resíduos e associações/cooperativas de catadores.

Após a obtenção das listagens e tentativas de contato junto aos estabelecimentos, fez-se um primeiro filtro, descartando agentes cuja geração é inexpressiva ou que não se enquadram na atividade investigada. Considerou-se, portanto, a geração e a destinação do resíduo de vidro laminado automotivo descartado pelas concessionárias de veículos, chapeações e, sobretudo, proveniente de lojas especializadas em trocas de para-brisas situadas na cidade Criciúma.

O Roteiro 1 de entrevista semi-estruturada, aplicado junto aos técnicos dos órgãos públicos municipais ligados ao manejo de RSU, foram empregados para a coleta de dados relacionados à gestão de RSU e ao estudo da cadeia de reciclagem de vidro pós-consumo. Ressalta-se que este instrumento também contou com questões que permitiram a identificação de fontes geradoras de resíduos de vidro laminado automotivo em cada um dos municípios investigados.

3.3.4 Pesquisa experimental

A pesquisa experimental, com a finalidade de analisar a viabilidade técnica de reciclagem do vidro laminado automotivo como insumo secundário na fabricação de fritas e esmaltes cerâmicos, ocorreu consecutivamente em três etapas: I) Coleta e determinação da composição química dos resíduos de vidros laminados; II) Planejamento experimental, preparação e produção de fritas e esmaltes cerâmicos; e III) Caracterização de propriedades físicas e químicas dos esmaltes produzidos e interpretação dos resultados.

3.3.4.1 Determinação da composição química dos resíduos de vidro laminado

Foram analisadas as composições químicas de amostras de resíduo de vidro laminado automotivo de diversos fabricantes mundiais. Estas foram comparadas às fritas comerciais nacionais e espanholas referenciadas por Melchiades (2011). Com base em tais análises, foram determinados os intervalos de variações a serem adotados no planejamento estatístico do presente estudo.

A preparação das amostras para o ensaio de fluorescência de raios X (FRX) incluiu a coleta de amostras de 6 (seis) diferentes marcas de fabricação de vidro de para-brisas junto a um dos principais geradores da cidade de Criciúma; trituração com auxílio de almofariz e pistilo; moagem a seco em moinho planetário por 10 min; e o peneiramento em malha 200 mesh.

3.3.4.2 Preparação e produção de fritas e esmaltes cerâmicos

Empregou-se a ferramenta estatística de planejamento fatorial de experimentos que resultou em 40 formulações de fritas cerâmicas com a incorporação de aproximadamente 8% de resíduo de vidro laminado automotivo. Foram utilizadas as seguintes matérias-primas: quartzo, feldspato sódico (albita), feldspato potássico, caulim, calcita, ácido bórico, óxido de zinco, nitrato de potássio, dolomita e resíduo de vidro laminado automotivo.

Para a formulação dos esmaltes cerâmicos utilizou-se as fritas produzidas a partir de resíduo, além de caulim, água e aditivos tipicamente utilizados para obtenção de suspensões estáveis – hexametáfosfato de sódio (HPF) e carboximetilcelulose (CMC) – conforme proporções descritas na Tabela 8.

Tabela 8 – Composição do esmalte fabricado a partir das fritas recicladas.

Matérias-primas	% em peso total
Frita com ~8% de resíduo de vidro laminado	90
Caulim	10
Hexametáfosfato de sódio (HPF)	0,1
Carboximetilcelulose (CMC)	0,1
Água	37

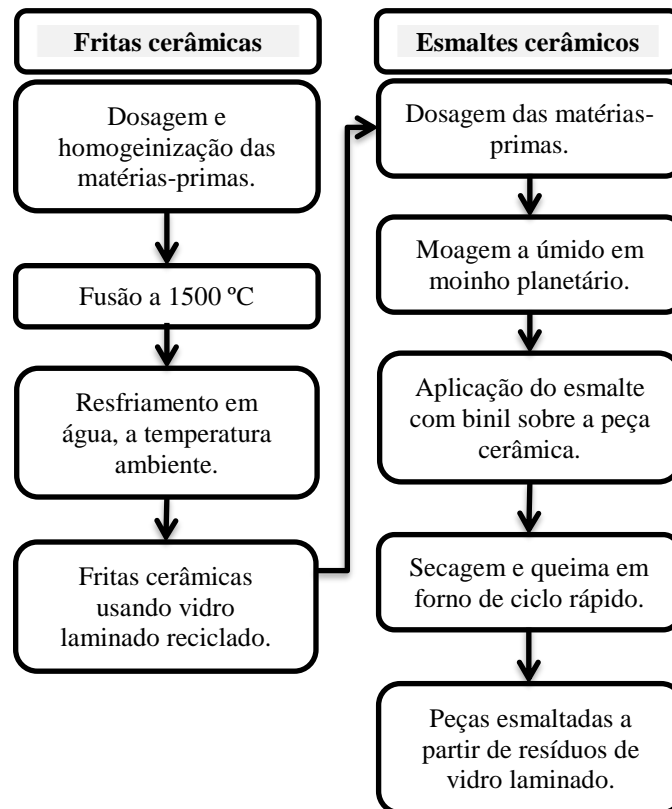
Fonte: Elaboração da autora.

Compreendem as etapas de produção das fritas cerâmicas em laboratório: dosagem, homogeneização das matérias-primas e fusão da mistura em cadinhos refratários de zirconia-alumina-sílica (ZAS) em temperatura de 1.500 °C durante 20 min, com taxa de aquecimento de 20 °C/min.

Após a fusão, a frita fundida nos cadinhos foi vertida rapidamente em água a temperatura ambiente, promovendo o resfriamento brusco e a consequente formação de uma estrutura totalmente vítrea na forma de pequenos estilhaços de vidro. Após a fusão das fritas cerâmicas recicladas, partiu-se para a formulação dos esmaltes cerâmicos usando como base a frita desenvolvida neste trabalho.

Para a fabricação dos esmaltes cerâmicos, as fritas e as demais matérias-primas (caulim, HPF, CFC e água) foram moídas em moinho planetário por 15 min e a suspensão foi aplicada sobre suportes cerâmicos de pisos com auxílio de um binil (4 mm). Posteriormente, as peças foram colocadas em forno de queima rápida a 1.120 °C durante 5 min.

Figura 31 – Descrição do procedimento realizado em laboratório para obtenção das fritas e esmaltes cerâmicos a partir de resíduo de vidro laminado automotivo.



Fonte: Elaborado pela autora.

Após a obtenção das 40 amostras de peças esmaltadas com as fritas usando resíduo de vidro laminado automotivo, três delas foram selecionadas visualmente (ABNT NBR 13.818, 1997) pelo desempenho de suas características estéticas, de modo que suas formulações foram refeitas obedecendo a mesma composição química, porém admitindo a adição de 15% de resíduo. Em suma, de acordo com o Quadro 6, foram realizadas um total de 50 fusões ao longo da pesquisa experimental.

Quadro 6 – Caracterização das amostras em relação ao % de resíduo de vidro de para-brisas.

Características	N. de amostras	Identificação
Com 8% de resíduo de VLA*	40	F1 a F40
Com 15% de resíduo de VLA	3	F11A, F36A, F38A
Padrões/comerciais (sem resíduo)	7	FI32, FI18, FI33, FI41, FI02, L1, L2
Total	50	-

*Vidro laminado automotivo. Fonte: Elaboração própria.

Deste total, 40 fusões destinaram-se à fabricação de fritas e esmaltes com 8% de resíduo; três fusões produziram amostras com 15% de resíduo e sete caracterizam-se pelo emprego de fritas comerciais, fabricadas a partir de matéria-prima virgem, ou seja, sem adição de resíduo.

3.3.4.3 Caracterização e interpretação dos resultados

Foram avaliadas diferentes propriedades físico-químicas das amostras produzidas ao longo de toda a pesquisa experimental. Os ensaios forneceram resultados relativos ao comportamento colorimétrico, térmico, mecânico e químico. O desempenho das amostras com mesmo percentual de resíduo (esmaltes-testes/amostras-testes) pôde ser comparado entre em si e com as amostras-padrão/esmaltes-padrão.

Do mesmo modo, foi possível analisar se as amostras com 15% de resíduo tiveram seus resultados otimizados em relação às amostras com 8% comparando-as também com o desempenho característico das amostras-padrão. O Quadro 7 mostra a distribuição das formulações por tipo de ensaio realizado e conforme o percentual de resíduo utilizado.

Quadro 7 – Distribuição das formulações em relação às caracterizações/ensaios realizados.

Caracterização/ Ensaio	Resultados	Amostras com ~8%	Amostras com 15%	Amostras-padrão	Total de amostras
Transparência/Brancura	L*	F1 a F40	F11A, F36A, F38A	Todas*	50
Brilho	G	F1 a F40	F11A, F36A, F38A	Todas*	50
Dilatação térmica linear (teórica)	α	F1 a F40	-	-	40
Dilatação térmica linear (experimental)	α	F11, F36, F38	F38A	FI32	5
Dureza Mohs	Mohs	F1 a F40	F11A, F36A, F38A	Todas*	50
Dureza Knoop	HK	F1 a F40	F11A, F36A, F38A	Todas*	50
Dureza Vickers	HV	F1 a F40	F11A, F36A, F38A	Todas*	50
Resistência química	G/GL	F1 a F40	F11A, F36A, F38A	Todas*	50
Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	-	F11, F36, F38	F38A	FI32	5
Microscopia de aquecimento (Misura)	° C	F11, F36, F38	F11A, F36A, F38A	FI32	7
Temperatura de amolecimento	T_g (°C)	F11, F36, F38	F38A	FI32	5
Análise química (FRX)	%	F11, F36, F38	F38A	FI32	5

* FI32, FI18, FI33, FI41, FI02, L1, L2. Fonte: Elaboração da autora.

a) Colorimetria

O grau de brancura ou transparência (L^*) e o brilho da superfície esmaltada (G) foram mensurados por um espectrofotômetro Byk-Gardner com geometria esférica (d8), resolução de 1 nm e leitura entre 400 e 700 nm. O resultado final consistiu na média de três leituras para cada parâmetro, a partir de diferentes ângulos. Adotou-se o FI32 std como esmalte-padrão.

b) Dureza

Para a caracterização do comportamento mecânico da camada vidrada das peças cerâmicas, valeu-se dos ensaios de dureza Mohs (resistência ao risco) e de microdureza Knoop e Vickers (resistência à deformação). O emprego de duas técnicas quantitativas levou em consideração, sobretudo, a disponibilidade de recursos para a realização de ambos os ensaios e o fato de que, embora a técnica Knoop seja mais adequada ao tipo de amostra em questão, por serem dotadas de maior fragilidade, o método Vickers é convencionalmente mais utilizado.

Os métodos quantitativos de avaliação da resistência mecânica a uma deformação localizada caracterizam-se pela aplicação de um penetrador contra a superfície do corpo de prova, sob condições controladas de carga e tempo. O método Knoop emprega cargas mais baixas, aplicado usualmente em materiais frágeis, a exemplo dos materiais cerâmicos; e deixa uma impressão superficial dotada de menor profundidade e maior largura quando comparado ao método Vickers (REMY; GAY; GONTHIER, 2002; CALLISTER Jr., 2008; MARTINS, 2012).

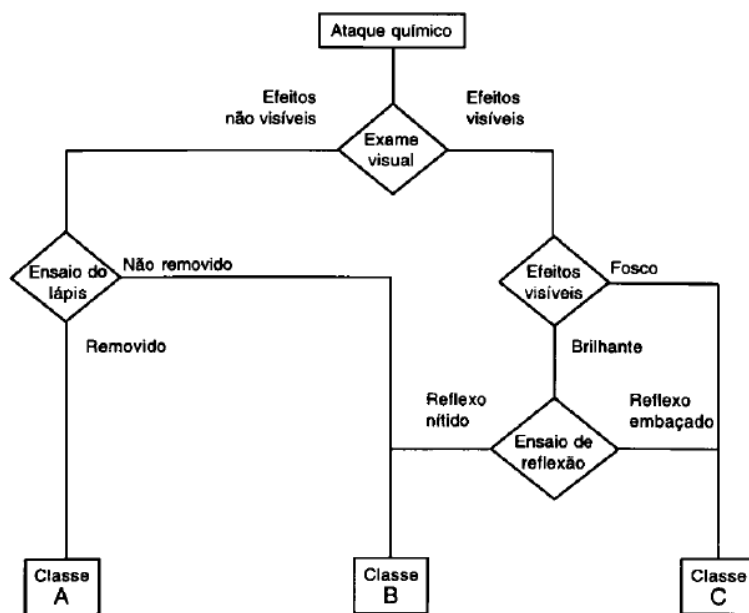
No ensaio de microdureza Knoop (HK) empregou-se carga de 25 gf durante 15 s. Para o método Vickers, aplicou-se uma carga de 1,96 kgf durante 15 s. Em ambos os ensaios o resultado final consistiu na média de três leituras.

A determinação da dureza segundo a escala Mohs em placas cerâmicas para revestimentos está regulamentada pela ABNT NBR 13818 (1997), anexo V. O ensaio consistiu, basicamente, em riscar as amostras e verificar se houve alteração na superfície da peça, anotando o número correspondente ao mineral que a produziu.

c) Resistência ao ataque químico

A resistência ao ataque químico é uma propriedade atrelada à capacidade do esmalte cerâmico em manter-se inalterado quando submetido ao contato com determinadas substâncias químicas. A norma ABNT NBR 13818 (1997), anexo H, orienta acerca dos procedimentos para determinação deste ensaio (Figura 32).

Figura 32 – Procedimento sistemático de classificação para a resistência ao ataque químico em revestimentos cerâmicos.



Fonte: (ABNT NBR 13818, 1997, p. 33).

As amostras podem ser submetidas a diferentes tipos de reagentes, com tempos específicos de exposição. As categorias são divididas em classes, dependendo dos níveis de resistência química, em alta, moderada e baixa (Quadro 8). Salienta-se que o ensaio de reflexão se aplica somente às amostras brilhantes (ABNT NBR 13.818, 1997).

Quadro 8 – Classificação dos revestimentos cerâmicos esmaltados de acordo com os níveis de resistência ao ataque químico.

Tipos de produtos		Níveis de resistência ao ataque químico		
		Alta	Moderada	Baixa
Produtos domésticos e de piscina		GA	GB	GC
Ácidos e álcalis	Alta concentração (H)	HA	HB	GHC
	Baixa concentração (L)	GLA	GLB	GLC

Fonte: Adaptado de (ABNT NBR 13.818, 1997, p. 34).

As amostras foram submetidas ao ensaio de resistência ao ataque químico empregando dois tipos de reagentes agressivos: i) solução de hipoclorito de sódio (NaClO), 20 mg/L, preparada a partir de hipoclorito de sódio com cerca de 13% de cloro ativo, com tempo de ataque de 24 h; e ii) solução de ácido clorídrico (HCl) 3%, com tempo de ataque de 96 h e substituição da solução após 48 h.

Os produtos químicos utilizados tratam-se, respectivamente, de um alvejante amplamente utilizado para tratamento de água de piscina e também de uso doméstico (NaClO) e de um ácido de baixa concentração (HCl), conforme instruções da norma ABNT NBR 13818 (1999), anexo H.

d) Dilatação térmica linear e temperatura de amolecimento

Determinou-se, teoricamente, o coeficiente linear de expansão térmica (α_L), embasada em Navarro (2003) e empregando o fator *Appen*. A expansão térmica em materiais vítreos é uma característica extremamente importante que está relacionada à resistência ao choque térmico e também ao acoplamento suporte-esmalte, o qual interfere na curvatura final da placa cerâmica. Sua determinação é fundamental, pois diferenças de expansão entre o esmalte e o suporte implicam em deficiências no acoplamento destes materiais e que podem levar a defeitos estruturais (NAVARRO, 2003; MELCHIADES, 2011).

A expansão ou dilatação de um material ocorre em função da variação de temperatura, de modo que o aumento relativo do comprimento ($\Delta L/L$) é proporcional à variação de temperatura (ΔT). Trata-se de uma propriedade indicativa da variação dimensional ou do alongamento sofrido por um material, quando a sua temperatura é elevada em um grau, dado em $^{\circ}\text{C}^{-1}$ (VAN VLACK, 1984; CALLISTER Jr., 2008).

$$\alpha = \frac{\sum p_i \alpha_i}{100}$$

Onde:

α = Coeficiente de dilatação térmica linear;
 p_i = Percentual (em moles) de cada componente;
 α_i = Fator dilatométrico (*Appen*).

Uma vez calculados os coeficientes de dilatação térmica linear de forma teórica, selecionou-se três amostras (F11, F36, F38) para serem submetidas ao ensaio dilatométrico (dilatômetro modelo RB3000), com a finalidade de comparar os valores obtidos a partir do cálculo teórico com aqueles mensurados experimentalmente.

Quanto ao ensaio do ciclo térmico, utilizou-se um microscópio de aquecimento (Misura HSM) de propriedade da Smalticeram, com taxas, respectivamente, de 30 °C/min. (aquecimento até 600 °C), 20 °C/min. (600 a 1000 °C) e 15 °C/min. (1000° C a 1400 °C).

e) Caracterização microestrutural

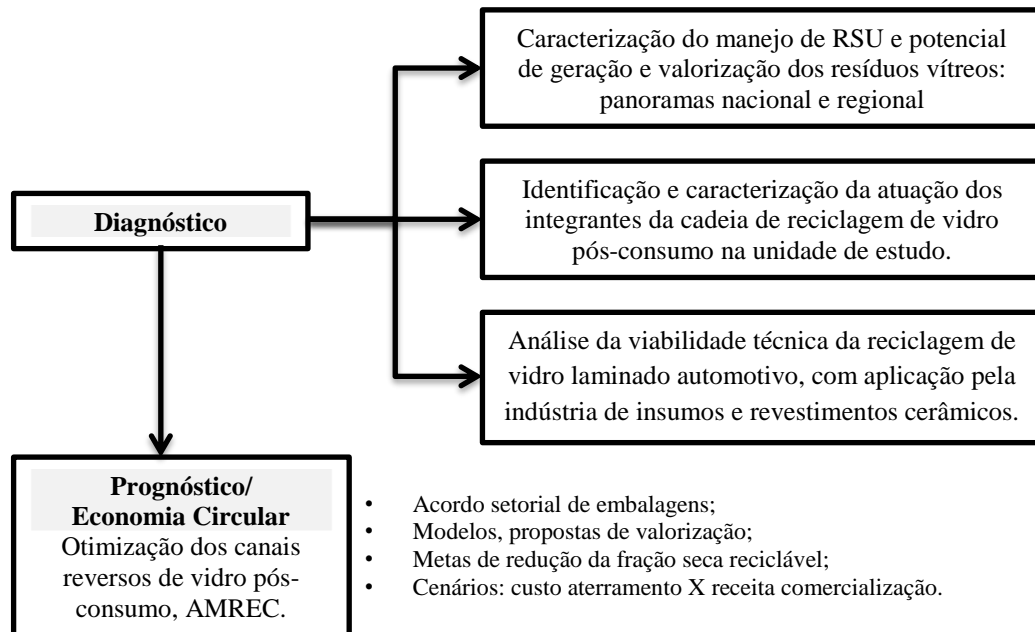
Além das caracterizações detalhadas acima, foram realizados ensaios complementares com o objetivo de analisar a microestrutura da camada de vidro das peças cerâmicas produzidas com resíduo de vidro laminado automotivo. A microestrutura da camada vidrada foi analisada no microscópio eletrônico de varredura (MEV) – modelo JEOL JSM-6390LV Scanning Electron Microscope, usando diferentes ampliações.

3.3.5 Alternativas para otimização dos canais reversos da reciclagem de vidro na Região Carbonífera sob a perspectiva da economia circular

Diante de todos os dados coletados e do grande diagnóstico ao qual se chegou (Figura 33), as alternativas de otimização dos canais reversos para o vidro foram pensadas a partir da possibilidade de máximo reaproveitamento e reintegração ambiental, social e econômica desse material no âmbito da Região Carbonífera, conforme orienta a economia circular.

Levaram-se em consideração as perspectivas do acordo setorial de embalagens (LENUM AMBIENTAL; CEMPRE, 2017), modelos e propostas apresentadas como referência na valorização dos resíduos vítreos, de autoria do CIRSURES em Urussanga (CIRSURES, 2015), aplicados pela COMCAP em Florianópolis (COMCAP, 2013) e os adotados na União Europeia, que é referência na recuperação de recicláveis em todo o mundo (ACR+, 2012; FEVE, 2018). Foram desenvolvidos diferentes cenários de reaproveitamento, variando as quantidades aterrada e reciclada.

Figura 33 – Condução da pesquisa para identificação das alternativas de otimização dos canais reversos de vidro pós-consumo no âmbito da AMREC.



Fonte: Elaboração da autora.

4 MANEJO DE RSU PÓS-PNRS: DIAGNÓSTICO DA GERAÇÃO, DESTINAÇÃO E VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS VÍTREOS

Os resultados apresentados nos subcapítulos seguintes atendem ao primeiro objetivo específico do estudo, relacionado ao diagnóstico da gestão de RSU em termos de cumprimento da Política Nacional de Resíduos Sólidos, geração e destinação, com enfoque no potencial de resíduos vítreos descartados e sua valorização. Foram analisados os cenários nacional e regional.

4.1 PANORAMA NACIONAL

Tendo em vista os desmembramentos da PNRS, sobretudo, relativos às exigências quanto aos PGIRS, cabe ressaltar que aproximadamente 34% dos municípios brasileiros os aprovaram atentando para o prazo previsto em Lei – que era agosto de 2012. De acordo com o levantamento feito em 2017, verificou-se um percentual de 54,8% de municípios com PMGIRS (SINIR, 2018).

Diferentemente, a pesquisa realizada pela CNM (2017) revelou que 36% dos municípios haviam finalizado os seus documentos em 2016 e no ano seguinte, esse percentual se elevou para 38%. O dado mais atualizado é do IBGE (2017), que revelou que cerca de 55% dos municípios brasileiros aprovou o PMGIRS, sendo a região sul detentora do percentual mais expressivo, com aproximadamente 79% dos seus municípios possuindo esse documento em conformidade com a Lei. Os dados da Tabela 9 foram compilados da Pesquisa de Informações Básicas Municipais (MUNIC/IBGE, 2018).

Tabela 9 – Indicadores de meio ambiente investigados pela pesquisa MUNIC, 2017 – IBGE.

Indicador	Brasil	Regiões				
		Norte	Sul	Centro-oeste	Nordeste	Sudeste
Estrutura ambiental	93,7	98,2	97,1	96,4	91,5	90,8
CMMA ¹	74,1	78,9	83,4	80,9	53,2	87,2
FMMA ²	50,3	59,8	65,3	72,4	33,1	49,4
Legislação/gestão ambiental ³	67,0	69,8	82,5	64,2	-	72,7
PMGIRS	54,8	54,2	78,9	58,5	36,3	56,6

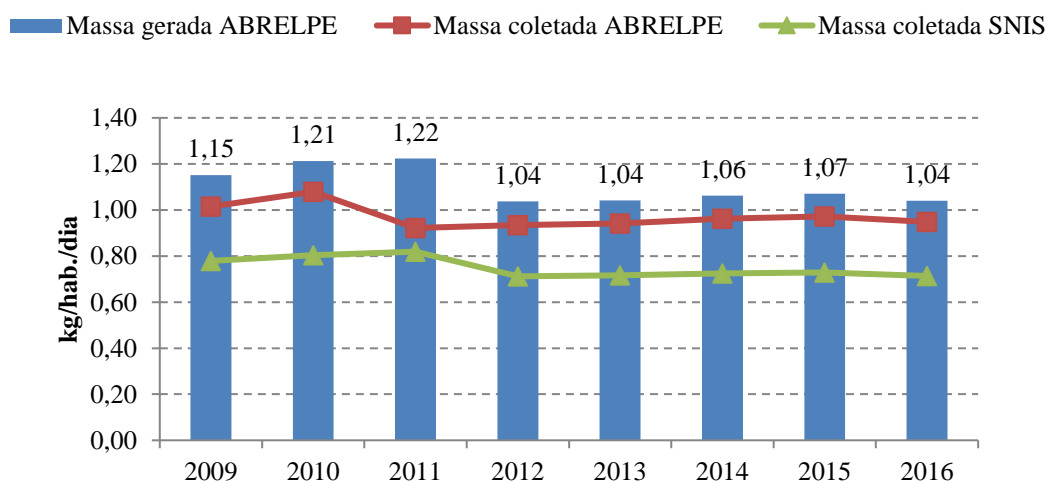
¹Conselho Municipal de Meio Ambiente; ²Fundo Municipal de Meio Ambiente; ³Instrumentos mais comum: saneamento básico (47,1%), coleta seletiva (41,9%), área de proteção ambiental (32,2%), embalagens de agrotóxicos (15,1%), gestão de bacias hidrográficas (14,6), mudanças climáticas (4,4%). Fonte: Adaptado de IBGE (2017).

De modo geral, tais dados mostram que o país está bem amparado em termos de estrutura pública ambiental e que grande parte dos municípios possui legislação específica ou instrumentos de gestão ambiental aplicáveis aos problemas de sua competência.

4.1.1 Geração e destinação de RSU com base na ABRELPE e no SNIS

A ABRELPE adota como indicador de produção de resíduos a geração e a coleta *per capita* enquanto o SNIS se refere à massa coletada *per capita*. Os dados do panorama de 2016 revelam que as quantidades gerada e coletada *per capita* no Brasil, respectivamente, são de 1,04 e 0,95 kg/hab./dia. A massa coletada *per capita* informada pelo SNIS (2016) é de 0,94 kg/hab./dia, valor bastante próximo ao apresentado pelo panorama ABRELPE. A Figura 34 sinaliza a evolução desses indicadores.

Figura 34 – Massa *per capita* de RSU gerada e coletada (kg/hab./dia), Brasil – ABRELPE e SNIS (2009-2016).



Fonte: Elaborado pela autora.

Verificou-se que a geração *per capita* nacional reduziu a partir de 2012 e se manteve abaixo de 1,07 kg/hab./dia nos anos seguintes. Quanto à massa *per capita* coletada, os valores do SNIS são inferiores aos da ABRELPE ao longo de todo o período. Admitindo os valores médios, constatou-se que um habitante gera diariamente 1,10 kg de resíduos e desse montante, 0,97 kg são coletados, de acordo com a ABRELPE. Conforme o SNIS, a massa média coletada é de 0,75 kg/hab./dia.

O SNIS relaciona ainda, a massa *per capita* coletada ao porte dos municípios (Tabela 10) e à região geográfica (Figura 35). O último diagnóstico revelou que habitantes situados nas cidades mais populosas do país (faixas 5 e 6) descartam quantidades superiores a 1,00

kg/hab./dia. Em municípios com população abaixo de um milhão de habitantes, a quantidade *per capita* coletada de resíduos é inferior ao valor médio: 0,94 kg/hab./dia.

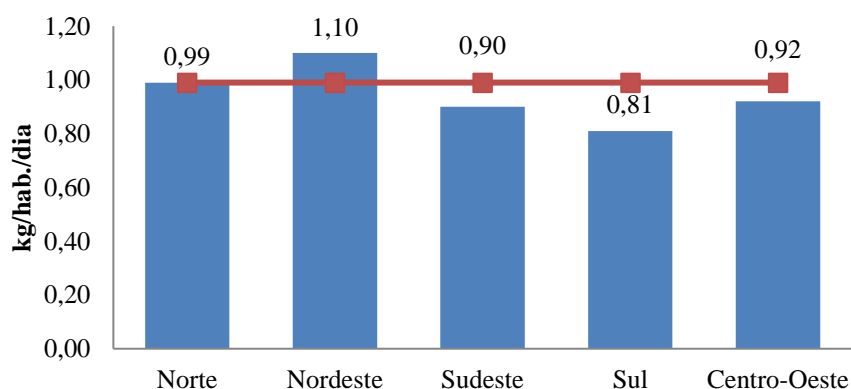
Tabela 10 – Massa coletada *per capita* em relação às faixas populacionais, Brasil – (SNIS, 2016).

Tamanho da cidade	Intervalo (habitantes)	Massa coletada <i>per capita</i> (kg/hab./dia)
1	Até 30.000	0,88
2	30.001 – 100.000	0,90
3	100.001 – 250.000	0,85
4	250.001 – 1.000.000	0,93
5	1.000.0001 – 3.000.000	1,02
6	Acima de 3.000.001	1,03
Média	-	0,94

Fonte: Adaptado de SNIS (2016).

Analisando o mesmo parâmetro regionalmente, observou-se que o sul (0,81 kg/hab./dia) e o sudeste (0,90 kg/hab./dia), embora representem os centros mais industrializados do país, caracterizam-se por gerações menos expressivas, comparativamente ao nordeste (1,10 kg/hab./dia) e ao norte (0,99 kg/hab./dia). Para Barros (2012), a geração *per capita* mostra-se maior em centros industrializados, onde a massa de lixo possui densidade aparente e umidade menores, diferentemente do exposto pelo SNIS.

Figura 35 – Massa coletada *per capita* em relação à região geográfica, Brasil – (SNIS, 2016).



Fonte: Elaborado pela autora.

No que diz respeito à quantidade total de RSU coletada, os dados da ABRELPE são superiores aos do SNIS. Embora ambas as fontes apresentem o mesmo desempenho ao longo do período analisado, observou-se um decréscimo nos dados do SNIS nos anos de 2015 e

2016. Chegou-se a uma geração média de 63,1 milhões de toneladas coletadas no país entre os anos de 2009 e 2016, com pico médio no ano de 2014.

Tabela 11 – Massa coletada de RSU (milhões de ton.), Brasil – (ABRELPE; SNIS, 2009-2016).

Ano	ABRELPE	SNIS	Média
	(milhões de t)		
2009	58,8	53,0	55,9
2010	63,4	53,0	58,2
2011	65,0	57,1	61,1
2012	66,2	59,5	62,9
2013	69,0	61,1	65,1
2014	71,3	65,7	68,5
2015	72,5	63,2	67,9
2016	71,3	59,5	65,4
Média	67,2	59,0	63,1

Fonte: Elaborado pela autora.

Dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (IBGE, 2010) indicam a situação do país no que diz respeito às formas de disposição final (Tabela 12). Enquanto em 1989 praticamente 89% dos resíduos gerados eram enviados para lixões, em 2008 verificou-se uma redução desse percentual e um incremento expressivo na quantidade encaminhada para aterros sanitários.

Tabela 12 – Disposição final de resíduos sólidos por unidade de destino (%), Brasil – (PNSB, 1989-2008).

Ano	Lixão	Aterro controlado	Aterro sanitário
1989	88,2	9,6	1,1
2000	72,3	22,3	17,3
2008	50,8	22,5	27,7

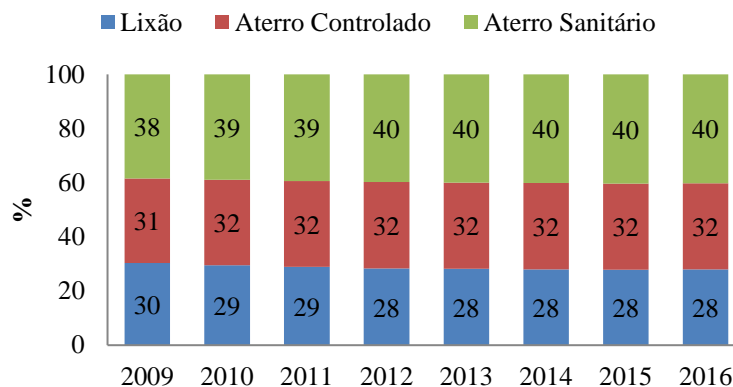
Fonte: (IBGE, 2010, p. 10).

A Figura 36 ilustra o percentual de municípios de acordo com as formas de disposição empregadas. Verificou-se, a partir do indicador da ABRELPE, que os aterros sanitários representam a alternativa adotada por 40% dos gestores municipais ao longo dos anos. De modo geral, os percentuais mantiveram-se equiparados para as mesmas alternativas durante o período.

A Confederação Nacional dos Municípios (CNM) divulgou um diagnóstico da gestão municipal de resíduos sólidos no Brasil nos anos de 2015 e 2017. Os percentuais divulgados pela ABRELPE e pela CNM, no que se refere aos municípios que adotam locais impróprios de disposição para o ano de 2015 são de 60% e 51%, respectivamente (ABRELPE, 2015;

CNM, 2017). Salienta-se ainda, que 30% dos municípios participantes da pesquisa da CNM (2017) integram consórcios de resíduos sólidos.

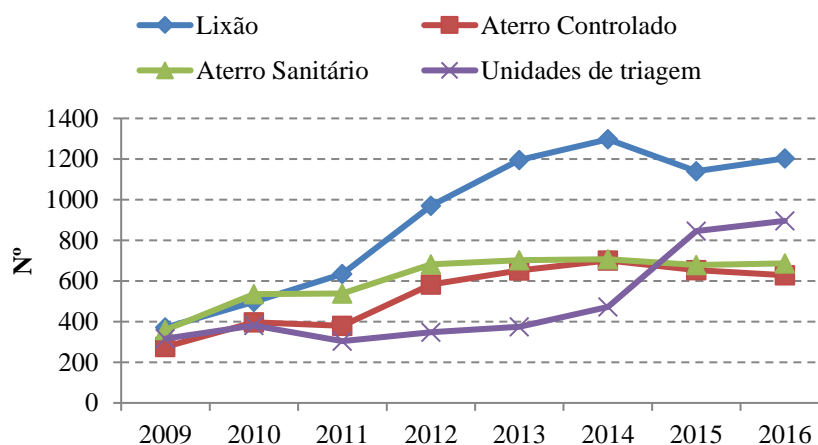
Figura 36 – Percentual de municípios por tipo de disposição final, Brasil – (ABRELPE, 2009-2016).



Fonte: Elaborado pela autora.

O diagnóstico publicado pelo SNIS informa o número de unidades de processamento no país (Figura 37), contemplando conjuntamente alternativas de destinação e disposição final. Observou-se que o número de lixões esteve em franca ascensão de 2011 a 2014 e o número de aterros sanitários, assim como de aterros controlados, também aumentou, entretanto, sem grandes variações.

Figura 37 – Número de unidades de processamento de destinação e disposição final, Brasil – (SNIS, 2009-2016).

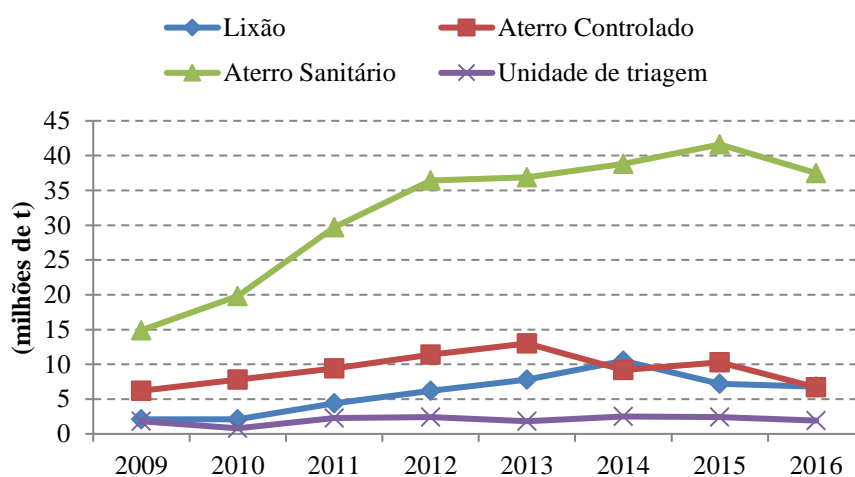


Fonte: Elaborado pela autora.

Portanto, mesmo após a deliberação da PNRS e o prazo estabelecido, o número de lixões continuou se elevando ao longo do período considerado. Quanto ao número de unidades de triagem, a quantidade dobrou em 2014 e continuou em crescimento nos anos seguintes. Porém, ainda representa um número pouco expressivo diante da quantidade gerada.

A partir da Figura 38 é possível verificar a evolução da quantidade de resíduos encaminhada para unidades de destinação e de disposição final no Brasil. Além das observações referentes ao fato de que os lixões ainda continuam recebendo resíduos, mesmo após a PNRS, e que os aterros sanitários representam a alternativa mais adotada segundo o SNIS, constatou-se ao longo do período considerado que o percentual enviado para unidades de triagem não ultrapassa 4% da totalidade de massa coletada.

Figura 38 – Quantidade recebida pelas unidades de processamento (milhões de ton.), Brasil – (SNIS, 2009-2016).



Fonte: Elaboração da autora.

Admitindo o ano de 2016 como ano de referência, pontua-se que das quase 68,4 milhões de toneladas de resíduos recebidas pelas unidades de processamento no país, 9,9% seguiu para lixões, 54,8% foram recebidas por aterros sanitários e somente 2,8% foram destinadas para uma unidade de triagem (SNIS, 2016).

Portanto, diante do montante que é gerado e coletado no país, uma quantidade muito pequena é efetivamente recuperada ou valorizada. Com base nesse dado, infere-se que os sistemas de coleta seletiva no país não estão cumprindo com o seu papel, tampouco caminhando no sentido da PNRS, a qual preconiza a adoção de práticas de não geração, reciclagem, compostagem e tratamento, reduzindo, conseqüentemente, a quantidade encaminhada para vias de disposição final ao longo dos anos.

4.1.2 A evolução da coleta seletiva no Brasil

Os primeiros programas de coleta seletiva no país iniciaram em 1980 e as primeiras informações oficiais foram levantadas em 1989. Entre 1989 e 2008, houve um aumento em proporções vertiginosas no número de programas, conforme mostra a Tabela 13.

Tabela 13 – Número de programas de coleta seletiva, Brasil – (PNSB, 1989-2008).

Ano	Número de programas
1989	58
2000	451
2008	994

Fonte: (BRASIL, 2010, p. 63).

Dados do CEMPRE (2016) ponderam que somente 18% dos municípios brasileiros possuem coleta seletiva e que 15% da população tem acesso aos programas municipais de recolha dos recicláveis. Tais iniciativas estão distribuídas, na sua maioria, nas regiões sul e sudeste, conforme ilustra Figura 39.

Figura 39 – Distribuição dos municípios com coleta seletiva, Brasil – (CEMPRE, 2016).



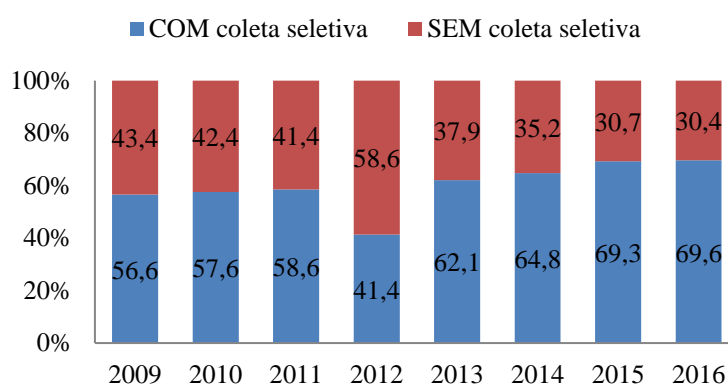
Fonte: CEMPRE (2016).

No que diz respeito aos agentes executores, segundo dados do SNIS (2016), em cerca de 51% dos municípios brasileiros que possuem coleta seletiva, esse serviço é feito por empresas contratadas pelas prefeituras e em 33% deles, os catadores atuam com apoio do

poder público municipal. As prefeituras operacionalizam diretamente a coleta da fração potencialmente reciclável em 16% das cidades do país.

As Figuras 40 e 41 apresentam um panorama do serviço de coleta seletiva no Brasil com base nos dados da ABRELPE e do SNIS, respectivamente, para o período investigado. De modo geral, tais documentos fornecem cenários completamente diferentes. Os percentuais da ABRELPE são consideravelmente superiores aos do SNIS.

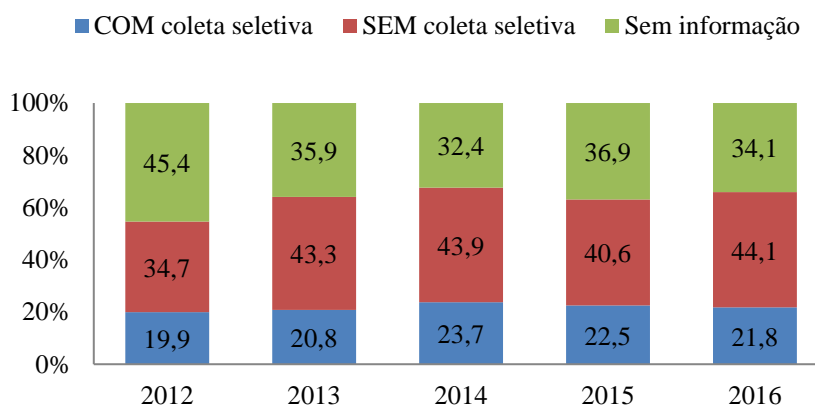
Figura 40 – Situação dos municípios brasileiros em relação à coleta seletiva, Brasil – (ABRELPE, 2009-2016).



Fonte: Elaborado pela autora.

Conforme a ABRELPE, o percentual de municípios com coleta seletiva aumentou gradativamente, alcançando aproximadamente 70% das cidades em 2016 (ABRELPE, 2016). Por outro lado, atentando para o diagnóstico do SNIS, observou-se uma variação pouco expressiva no número de municípios que atendem a esse requisito da PNRS, cujo percentual máximo não ultrapassou 24% ao longo de todo o período.

Figura 41 – Situação dos municípios brasileiros em relação à coleta seletiva, Brasil (2012-2016) – SNIS.



Fonte: Elaborado pela autora.

Nesse sentido, a taxa de desvio das vias de disposição final é um indicador bastante interessante para analisar a efetividade da coleta seletiva, tendo em vista que expressa a quantidade de resíduos que estão sendo reaproveitados ou destinados para as associações e cooperativas de catadores.

Os dados da CNM (2017) em relação ao percentual de municípios com coleta seletiva são mais próximos ao exposto pela ABRELPE e mostram um panorama estável. Portanto, a partir de cinco fontes que publicaram dados relativos ao número de municípios com coleta seletiva no país ao longo dos anos, chegou-se ao panorama da Tabela 14.

Tabela 14 – Evolução do percentual de municípios brasileiros com coleta seletiva segundo fontes diversas, Brasil (2008-2017).

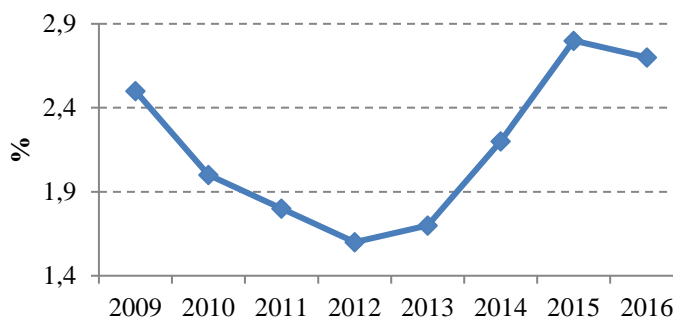
Ano	PNSB/IBGE	ABRELPE	SNIS	CEMPRE	CNM
2008	18	-	-	-	-
2009	-	57	-	-	-
2012	-	-	20	-	-
2015	-	70	23	-	49
2016	-	70	22	18	-
2017	-	-	-	-	48

Fonte: Elaborado pela autora.

O percentual divulgado pela PNSB (IBGE, 2008) é o mesmo apontado pela pesquisa do CEMPRE em 2016. No ano de 2015, para o qual há publicações da ABRELPE, do SNIS e do CNM, os percentuais variam significativamente: entre 23 e 70%. O dado mais atualizado é do CNM (2017), o qual revela que pouco menos da metade dos municípios brasileiros possuem alguma iniciativa voltada para o recolhimento da fração reciclável presente nos RSU. Os dados do SNIS são os que mais divergem, tendo em vista que não ultrapassam 23%.

No que se refere à efetividade do sistema de coleta seletiva no Brasil, a partir da quantidade de resíduos recolhidos pela coleta seletiva e convencional, tem-se a taxa de lixo desviado das vias de disposição final (Figura 42):

Figura 42 – Taxa de desvio de lixo da disposição final, Brasil – (SNIS, 2009-2016).



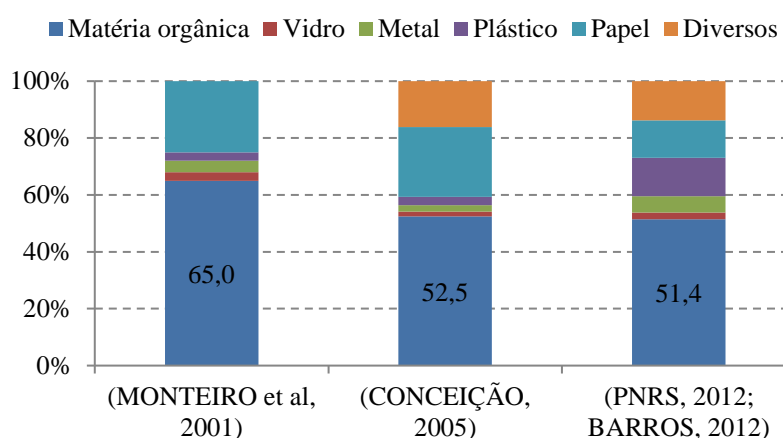
Fonte: Elaboração própria.

Cerca de 2,2%, em média, do lixo produzido no país está sendo desviado das vias de disposição final: um percentual consideravelmente baixo. Entre os anos de 2009 e 2016, observou-se uma tendência de redução do material recuperado até o ano de 2012, dois anos após a deliberação da PNRS, se elevando nos anos seguintes.

4.1.3 A composição gravimétrica e o potencial de geração e valorização de resíduos vítreos

No que diz respeito à evolução da composição da massa de RSU descartada no país, verificou-se que houve uma redução na geração de matéria orgânica e um incremento considerável no consumo de material plástico, conforme ilustra a Figura 43. A composição presente no Plano Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2012) caracteriza-se pela presença de 51,4% de matéria orgânica e 34,8% de materiais potencialmente recicláveis.

Figura 43 – Evolução da composição gravimétrica do lixo domiciliar brasileiro, segundo diferentes fontes, Brasil.



Fonte: Elaboração da autora.

De acordo com a Tabela 15, pondera-se que o dado mais discrepante na composição gravimétrica de diferentes países refere-se à quantidade de material orgânico, cuja média em países de baixa renda é 65%. Em países de renda média, essa categoria representa 43% dos resíduos descartados; e em países industrializados, somente 25% (BARROS, 2012; CEMPRE, 2013). Os EUA e a Europa, de modo geral, apresentam as composições com menor quantidade de matéria orgânica e percentual mais elevado da fração reciclável seca, superior a 60% do total. Notadamente, a Alemanha e a Holanda não reproduzem esse cenário.

Tabela 15 – Composição média do lixo domiciliar em diferentes países (% em peso).

Componente	Alemanha ¹	Holanda ¹	EUA ¹	Europa ²	México ²	Brasil ³
Vidro	10,4	14,5	8,2	9,8	8,2	2,4
Metal	3,8	6,7	8,7	9,2	3,2	5,8
Plástico	5,8	6,0	6,5	7,2	3,8	13,5
Papel	18,8	22,5	41,0	36,0	20,0	13,1
Fração reciclável seca	38,8	49,7	64,4	62,2	27,2	34,8
Matéria orgânica	61,2	50,3	35,6	28,1	54,4	51,4

Fonte: Elaborado pela autora a partir de (¹MONTEIRO *et al*, 2001, p. 33; ²CONCEIÇÃO, 2005, p. 111; ³BRASIL, 2012; BARROS, 2012).

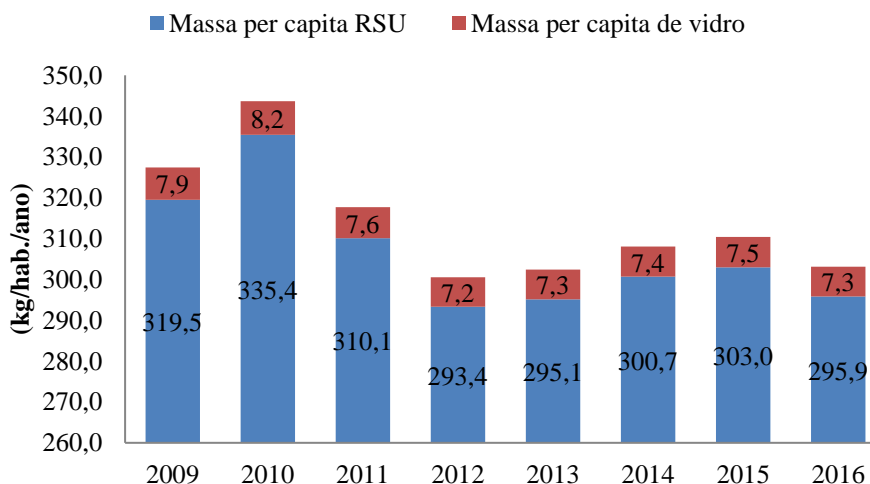
A geração de resíduos de vidro é maior em países industrializados, cuja renda é mais elevada, a exemplo dos EUA, Holanda e Alemanha. Em países com baixa e média renda, a quantidade de vidro descartada oscila entre 1 e 5% do total de RSU. No Brasil, de acordo com os dados mais recentes (BRASIL, 2012), o vidro representa 2,4% da composição da massa descartada.

Tabela 16 – Quantidade de vidro na composição do lixo domiciliar de acordo com a renda, em %.

Cenário	Países com baixa e média renda ²	Brasil ¹	Brasil ²	Países com renda alta ²
% de vidro	1-5	3,0	2,4	5-8

Fonte: Elaborado pela autora, adaptado de (¹MONTEIRO *et al*, 2001, p. 33; ¹, ²BARROS, 2012; ²BRASIL, 2012, p. 10).

Estima-se que um brasileiro gera, em média, 314,2 kg de RSU por ano. Deste montante, 7,5 kg caracterizam-se por resíduos vítreos, cuja geração entre os anos de 2009 e 2016 variou entre 7,2 e 8,2 kg vidro/hab./ano (Figura 44).

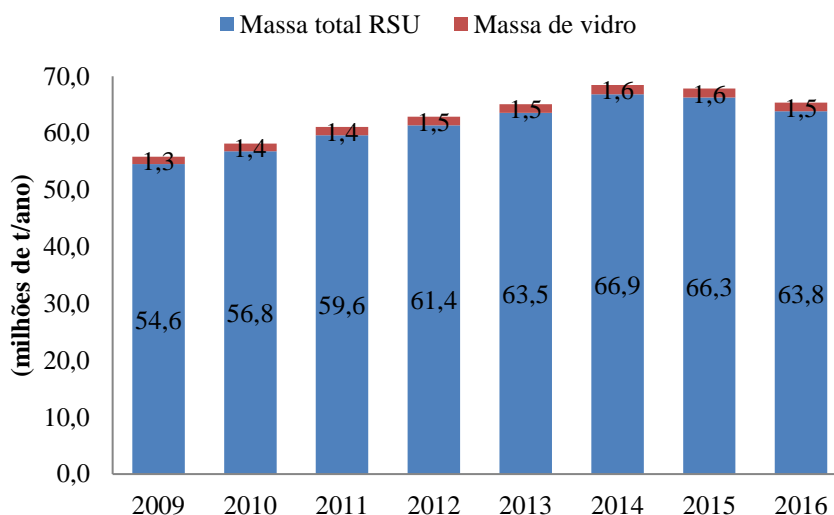
Figura 44 – Estimativa da massa *per capita* coletada de RSU e de vidro (kg/hab./ano), Brasil (2009-2016) – ABRELPE e SNIS.

Fonte: Elaborado pela autora a partir de ABRELPE e SNIS.

Esses valores situam-se na faixa descrita pela ABIVIDRO (2011) como característica do consumo *per capita* de embalagens no país, que oscila entre 4 e 11 kg/hab./ano. Por outro lado, são inferiores ao consumo anual de um habitante europeu, que varia entre 13 e 47 kg/hab./ano (ACR+, 2012).

Logo, da totalidade de RSU coletada no país, na ordem de 63,1 milhões de t/ano, estima-se que, em média, 1,5 milhão de toneladas constituem-se por resíduos vítreos, correspondentes a 4,2 mil t/dia ou 125 mil t/mês. Ao longo do período considerado, observou-se uma variação entre 1,3 e 1,7 milhão de t/ano na massa coletada de vidro, conforme ilustra a Figura 45.

Figura 45 – Estimativa da massa total coletada de vidro (milhões t/ano), Brasil (2009-2016) – ABRELPE e SNIS.



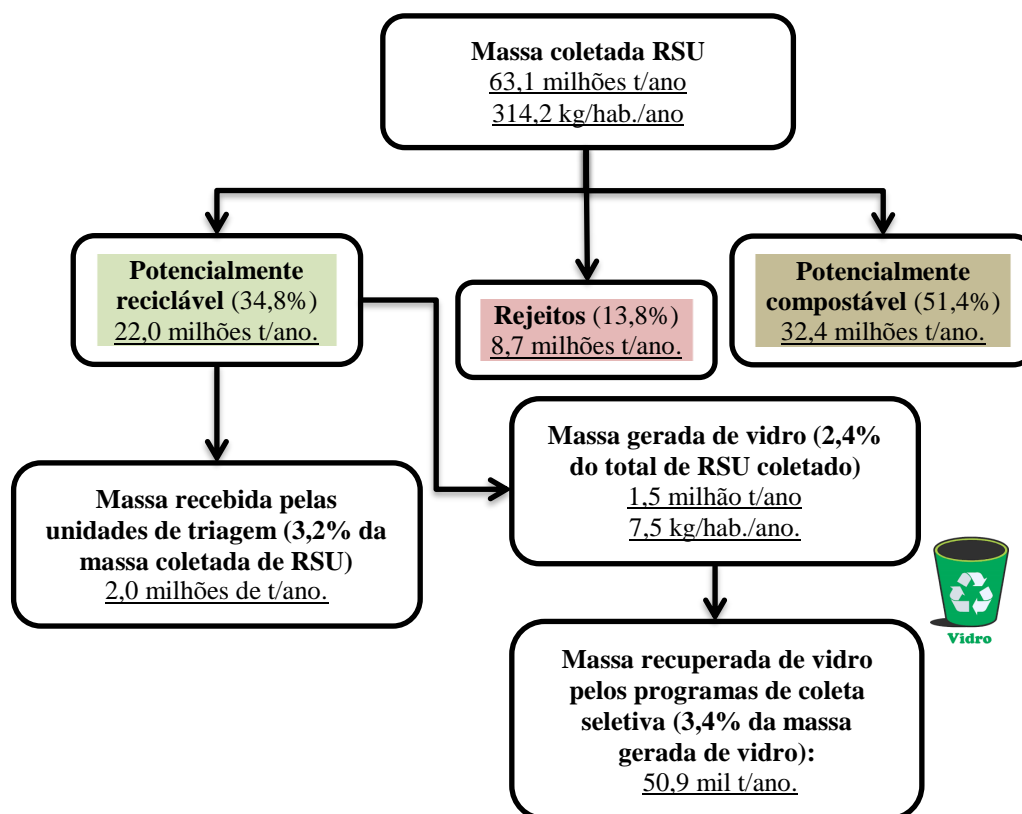
Fonte: Elaborado pela autora a partir de ABRELPE e SNIS.

Portanto, no Brasil, da totalidade de RSU coletados, aproximadamente 35% compreende a fração seca potencialmente reciclável composta por papel, plástico, metal e vidro, ou seja, 22 milhões de t/ano. Em contrapartida, as unidades de triagem recebem, em média, 2 milhões de t/ano, o que representa um percentual de 3,2% em relação ao total de RSU coletado.

Possivelmente, grande parte do vidro descartado no país é aterrado, já que a quantidade estimada recuperada desse material pelos programas de coleta seletiva é de 50,9 mil t/ano, de acordo com o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2012).

Logo, em relação à quantidade potencialmente gerada de resíduos vítreos que é de 1,5 milhão de t/ano, chegam às unidades de triagem 3,4% desse montante. Considerando a massa de recicláveis recebida pelas unidades de triagem, o vidro representa 2,5% do total. A Figura 46 mostra a compilação dos dados sobre a composição gravimétrica e as quantidades coletadas de RSU e de vidro, no cenário nacional.

Figura 46 – Composição gravimétrica dos RSU gerados no país e estimativa de geração e recuperação dos resíduos vítreos.



Fonte: Elaboração própria.

4.2 PANORAMA REGIONAL

No que diz respeito à aprovação do PMGIRS em conformidade com a PNRS pelos municípios integrantes da Região Carbonífera, Forquilha foi o primeiro a produzi-lo, ainda em 2010. Os municípios consorciados ao CIRSURES compuseram um único documento de caráter intermunicipal, aprovado em 2013. Criciúma, Içara e Siderópolis o fizeram mais tardiamente: em 2016. O PMGIRS de Balneário Rincão está em fase de aprovação pela Câmara Municipal.

Referente à periodicidade da revisão, embora a PNRS tenha estabelecido o ano de 2012 como marco para a elaboração do PMGIRS e um prazo de quatro anos para atualizá-lo, não houve publicação de uma nova edição por nenhum dos municípios até a ocasião das entrevistas. O Quadro 9 apresenta o cenário regional no que se refere à existência das fundações, aprovação e revisão do PMGIRS.

Quadro 9 – Caracterização da gestão de RSU em relação à existência das fundações municipais de meio ambiente, aprovação e revisão do PMGIRS e à responsabilidade pelo manejo de resíduos, AMREC, 2018.

Município	Fundação Ambiental Municipal¹	Aprovação PMGIRS	Revisão PMGIRS
Balneário Rincão	Não possui	Em aprovação ²	Não
Cocal do Sul	FUNDAC, 001/2009	2013	Não
Criciúma	FAMCRI, 019/2008	2016	Não
Forquilha	FUNDAF, 010/2008	2010	Não
Içara	FUNDAI, 005/2008	2016	Não
Lauro Muller	FAM, 012/2008	2013	Não
Morro da Fumaça	FUMAF, 005/2009	2013	Não
Nova Veneza	FUNDAVE, 66/2015	2013	Não
Siderópolis	FAMSID, 006/2008	2016	Não
Orleans	FAMOR, 70/2015	2013	Não
Treviso	FUNTREV, 110/2017	2013	Não
Urussanga	FAMU, 97/2017	2013	Não

¹ Sigla e ano de habilitação pelo CONSEMA, extraído de SDS (2018); ² Plano em fase final de aprovação pela Câmara Municipal (último contato feito jun. 2018). Fonte: Elaborado pela autora a partir das entrevistas, dos PMGIRS e da SDS (2018).

Com exceção de Balneário Rincão, cuja emancipação se deu em 2003 e incorporação à AMREC em 2013, os demais municípios possuem uma fundação de meio ambiente com atribuições voltadas para a fiscalização e licenciamento ambiental de atividades causadoras de impactos locais. Tais órgãos começaram a ser habilitados via Conselho Estadual de Meio Ambiente (CONSEMA) a partir de 2008.

4.2.1 Geração e destinação dos RSU na Região Carbonífera

A partir da geração *per capita* de cada município integrante da Região Carbonífera extraída dos PMGIRS (CRICIÚMA, 2016; IÇARA, 2016; SIDERÓPOLIS, 2016) – cuja média é de 0,59 kg/hab./dia – e admitindo uma população de aproximadamente 421 mil habitantes, chegou-se aos valores apresentados na Tabela 17.

Logo, estima-se que são geradas no âmbito da AMREC, um total de 93,5 mil t/ano de RSU, correspondentes a 7,8 mil t/mês ou 249,1 t/dia, com destaque para o município de Criciúma, responsável por 53,2% desse montante. Em relação à geração *per capita*, Balneário Rincão caracteriza-se pelo indicador mais elevado, possivelmente, por tratar-se de uma cidade litorânea cuja população aumenta significativamente na alta temporada.

Tabela 17 – Diagnóstico da geração de resíduos sólidos domiciliares, AMREC.

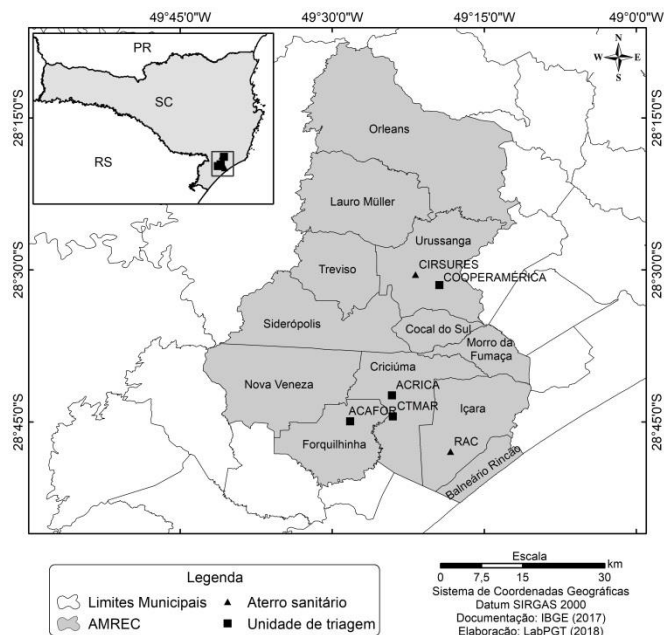
Município	População Total (hab.)	Geração <i>per capita</i> (kg/hab./dia)	Geração diária (t/dia)	Geração anual (mil t./ano)
Balneário Rincão	12.018	0,94	11,3	4,1
Cocal do Sul	16.156	0,65	10,5	3,8
Criciúma	206.918	0,66	136,6	49,7
Forquilha	25.129	0,37	9,3	3,4
Içara	53.145	0,49	26,0	9,5
Lauro Muller	14.996	0,49	7,3	2,7
Morro da Fumaça	17.213	0,72	12,4	4,5
Nova Veneza	14.470	0,43	6,2	2,3
Orleans	22.449	0,69	15,5	5,6
Siderópolis	13.686	0,54	7,4	2,7
Treviso	3.785	0,54	2,0	0,7
Urussanga	21.003	0,58	12,2	4,4
	420.968	0,59	249,1	93,5

Fonte: Elaborado pela autora a partir de (CIRSURES, 2016; CRICIÚMA, 2016; IÇARA, 2016; SIDERÓPOLIS, 2016).

Embasada nos planos e nas entrevistas, verificou-se que todos os municípios da região adotam a alternativa ambientalmente mais adequada de disposição final em conformidade com a PNRS: os aterros sanitários sediados em Içara (RAC Saneamento) e Urussanga (CIRSURES).

No que se refere à destinação da fração seca potencialmente reciclável, foram apontados como empreendimentos solidários locais que recebem parcialmente os recicláveis descartados na unidade de estudo, duas associações e duas cooperativas de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis, localizadas nos municípios de Criciúma, Forquilha e Urussanga. A Figura 47 apresenta a localização das rotas de destinação e disposição final no âmbito da AMREC.

Figura 47 – Localização das unidades de triagem e dos aterros sanitários adotados pelos municípios da AMREC.



Fonte: LabPGT (2018).

Içara é o único município que não dispunha de um sistema de coleta seletiva na ocasião da entrevista. Em Balneário Rincão, observou-se que a execução da coleta seletiva, diferentemente dos demais municípios, é feita por uma empresa de iniciativa privada.

Em 2000, foram contabilizados 35 lixões e 18 aterros controlados nos 11 municípios pertencentes à AMREC (MANGILI, 2006; CRICIÚMA, 2016). O CIRSURES foi instituído logo depois, em 2001, como um consórcio público de direito privado e entrou em funcionamento no ano de 2004. Em 2010 migrou para a condição de consórcio público de direito público. Atualmente, o aterro recebe os resíduos provenientes dos municípios de Cocal do Sul, Lauro Muller, Morro da Fumaça, Siderópolis, Orleans, Treviso e Urussanga (CIRSURES, 2013; CIRSURES, 2018).

O Quadro 10 apresenta a evolução das alternativas de disposição final empregadas na região ao longo dos anos e das formas de destinação da fração seca potencialmente reciclável atualmente adotadas.

Quadro 10 – Evolução das formas de disposição final nos municípios da AMREC (2000-2017) e alternativas de destinação atualmente adotadas para a valorização da fração seca potencialmente reciclável (2018).

Município	Alternativa de disposição final			Alternativa de destinação (fração seca)
	2000 (CRICIÚMA, 2016)	2004 (CRICIÚMA, 2016)	2017 (PMGIRS e entrevistas)	
Balneário Rincão	-	-	RAC	ECOVIDROS
Cocal do Sul			RAC	COOPERAMÉRICA
Criciúma			CIRSURES	ACRICA e CTMAR
Forquilha			RAC	ACAFOR
Içara			RAC	-
Lauro Muller			CIRSURES	COOPERAMÉRICA
Morro da Fumaça			CIRSURES	COOPERAMÉRICA
Nova Veneza			RAC	ACAFOR
Siderópolis			CIRSURES	COOPERAMÉRICA
Orleans			CIRSURES	COOPERAMÉRICA
Treviso			CIRSURES	COOPERAMÉRICA
Urussanga			CIRSURES	COOPERAMÉRICA

 Lixão
 Aterro controlado
 Aterro sanitário

Fonte: Elaborado pela autora com base nos PMGIRS e nas entrevistas.

O aterro sanitário de Içara iniciou suas atividades em 2005 quando ainda era gerenciado pela Santech Resíduos. Em 2014, por força de uma decisão judicial, passou a ser de propriedade da RAC Saneamento e Tecnologia Ambiental. O aterro recebe cargas de RSU provenientes de Balneário Rincão, Criciúma, Forquilha, Içara e Nova Veneza (CRICIÚMA, 2016; IÇARA, 2016).

As quatro unidades de triagem e comercialização de recicláveis mencionadas pelos entrevistados e citadas nos diagnósticos dos PMGIRS, são: Associação de Catadores de Forquilha (ACAFOR), Associação Criciumense de Catadores (ACRICA), Cooperativa de Trabalhadores de Materiais Recicláveis (CTMAR) e a Cooperativa de Reciclagem do Rio América (COOPERAMÉRICA).

O PMGIRS de Forquilha (FORQUILHINHA, 2010) não faz menção à ACAFOR, uma vez que o plano foi aprovado anteriormente a sua constituição. No entanto, o documento já previa a implantação de um centro de triagem e a formação de uma cooperativa de catadores após a liberação de recursos pela Fundação Nacional da Saúde (FUNASA).

Guadagnin *et al* (2014) relatam sobre a experiência de assessoria na organização e capacitação de catadores em Forquilha e sobre a consolidação da ACAFOR, enquanto exemplo a ser seguido por outras organizações. A associação de Forquilha realiza a coleta dos recicláveis no município onde se localiza e também recebe os recicláveis dos PEV's de Nova Veneza.

De acordo com o PMGIRS de Criciúma, a CTMAR iniciou suas atividades no final de 2003 como uma associação – Associação dos Trabalhadores de Materiais Recicláveis (ATMAR). A mudança de natureza jurídica se deu em 2009. A ACRICA foi criada em 2008, mas somente a partir de 2014 começou a receber parte dos recicláveis recolhidos pela coleta seletiva municipal. Ressalta-se que não há qualquer instrumento jurídico que vincule ou assegure uma parceria entre essas unidades e a prefeitura municipal de Criciúma (CRICIÚMA, 2016).

A COOPERAMÉRICA foi fundada em 2004 e atua em parceria com o CIRSURES desde o início das atividades do aterro. Na medida em que a abrangência da coleta seletiva foi se ampliando entre os municípios contemplados pelo consórcio, aumentou a participação da cooperativa na triagem e comercialização dos recicláveis descartados (CIRSURES, 2013; CIRSURES, 2018).

Além destas organizações de catadores relativamente mais conhecidas enquanto alternativas locais de destinação e vinculadas formal e informalmente às prefeituras, verificou-se por meio da consulta aos planos, a existência de pequenas unidades de triagem na região. Alguns galpões foram fechados por força judicial e outros continuam em operação, ainda que sob condições inadequadas (CIRSURES, 2013; NOVA VENEZA; 2013; IÇARA, 2016; SIDERÓPOLIS, 2016).

Verificou-se também que a região contou com outros movimentos de organização de catadores concebidos, aparentemente, de forma mais articulada, contudo, representam iniciativas que acabaram se extinguindo – é o caso da COOPERI (Cooperativa de Reciclagem de Içara, fundada em 2006), SOS Planeta e da ACOR (Associação de Catadores de Materiais Recicláveis de Orleans) (CIRSURES, 2013; NOVA VENEZA, 2013; IÇARA, 2016; SIDERÓPOLIS, 2016).

Diante da identificação das principais formas de destinação dos RSU características da Região Carbonífera, é importante contextualizar o cenário local no que se refere à coleta seletiva, uma vez que o aumento das taxas de reaproveitamento da fração seca potencialmente reciclável depende diretamente da efetividade dos sistemas de recolha seletiva.

O Quadro 11 apresenta a situação atual da coleta seletiva nos municípios da AMREC. O primeiro registro relacionado à tentativa de implementação de um projeto de coleta seletiva na região certamente é oriundo do município de Criciúma e se remete a 1993 (CRICIÚMA, 2016). Entre idas e vindas, o ano de 2011 caracteriza-se pelo lançamento da coleta seletiva solidária na cidade em parceria com as organizações de catadores locais (CRICIÚMA, 2011).

Quadro 11 – Caracterização da coleta seletiva: agente executor, categorias de segregação e modalidade de recolha, AMREC.

Município	Início da coleta seletiva	Agente responsável	Catação informal expressiva	Segregação na fonte		Tipo de coleta	
				Recicl. X não recicl.	Seco x úmido	Porta-a-porta	PEV
Baln. Rincão	2015	Prefeitura	X	X			X
Cocal do Sul	2013	CIRSURES	X	X		X	X
Criciúma	2011	Prefeitura	X	X		X	
Forquilha	2012	Prefeitura	X	X		X	
Içara	Inativa	Inativa	X				
Lauro Muller	2015	CIRSURES		X		X	
Morro da Fum.	2015	CIRSURES	X	X		X	X
Nova Veneza	2015	Prefeitura	X	X			X
Siderópolis	2015	CIRSURES	X		X	X	
Orleans	2014	CIRSURES	X	X		X	
Treviso	2014	CIRSURES		X		X	
Urussanga	2008	CIRSURES	X	X		X	X

Fonte: Elaborado pela autora embasada no PMGIRS e nas entrevistas.

De todo modo, passados oito anos de aprovação da PNRS, uma reportagem veiculada recentemente (SAVIATO, 2017) usa os termos invisibilidade e precariedade para reportar-se à coleta seletiva de Criciúma, retratando a forma ineficiente com que ela ocorre, bem como, a falta de conscientização da população e as péssimas condições de trabalhos nas unidades de triagem locais. Nunes (2015) destaca que os olhares dos gestores públicos não estão voltados para a coleta dos recicláveis na cidade, tampouco para a inclusão de catadores nos programas municipais.

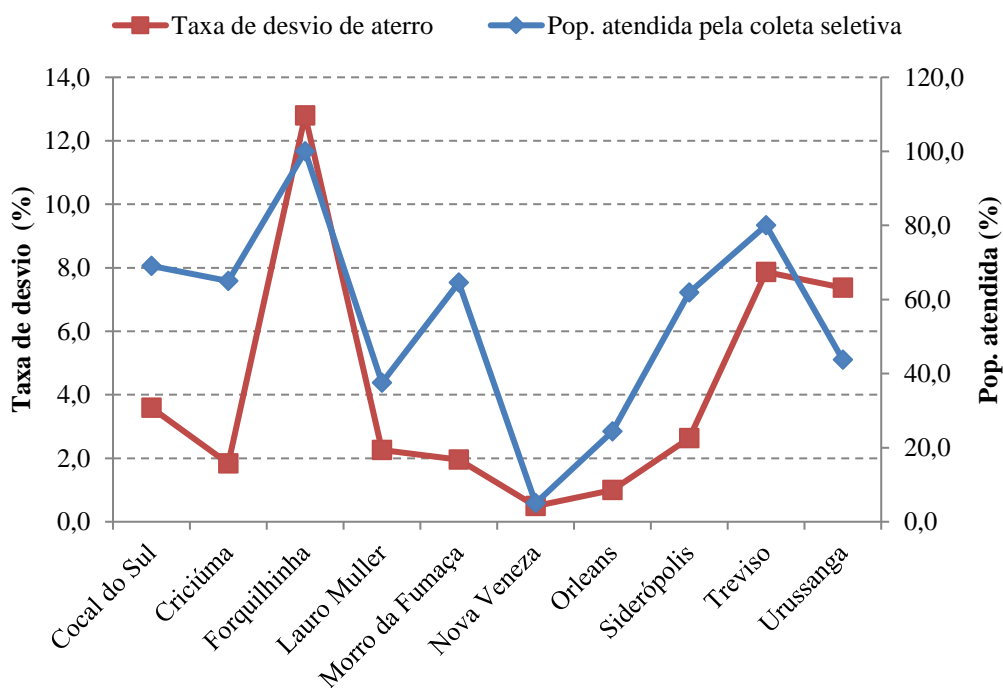
Em Içara, houve uma tentativa de implantação da coleta de recicláveis em um bairro piloto no ano de 2014, por meio de parceria entre a prefeitura e a COOPERI, mas também não se efetivou (IÇARA, 2016). Em novembro de 2017, a prefeitura municipal iniciou um novo programa intitulado “Recicla Içara” na área urbana da cidade, prevendo a inclusão dos catadores autônomos locais (PORTAL ENGEPLUS, 2017; IÇARA, 2017).

O CIRSURES em parceria com a COOPERAMÉRICA representa o agente responsável pela coleta seletiva nos municípios atendidos pelo consórcio, adotando, preferencialmente, a modalidade porta-a-porta. Nas demais cidades, a iniciativa é administrada pelas prefeituras. Em Forquilha, a coleta dos recicláveis é feita pela ACAFOR.

Em Balneário Rincão – onde o serviço é ofertado somente na alta temporada – e em Nova Veneza, particularmente, adotam-se os pontos de entrega voluntária como modalidade de coleta. Quanto às categorias de segregação, somente Siderópolis emprega as classes “seco e úmido”, ao passo que no restante dos municípios estimula-se a separação dos materiais em “recicláveis e não recicláveis”.

A Figura 48 apresenta o desempenho dos municípios da AMREC em relação a dois indicadores de coleta seletiva: o percentual da população atendida e a taxa de desvio de lixo do aterro. Os municípios que se sobressaem no cenário regional por apresentarem ambos os indicadores em percentuais mais elevados são Forquilha e Treviso.

Figura 48 – População atendida pela coleta seletiva e taxa de recolhimento da fração reciclável (desvio do aterro sanitário), AMREC.



Fonte: Elaborado pela autora a partir das entrevistas e adaptado de (BALNEÁRIO RINCÃO, 2016; CRICIÚMA, 2016; IÇARA, 2016; CIRSURES, 2017; SAVIATO, 2017).

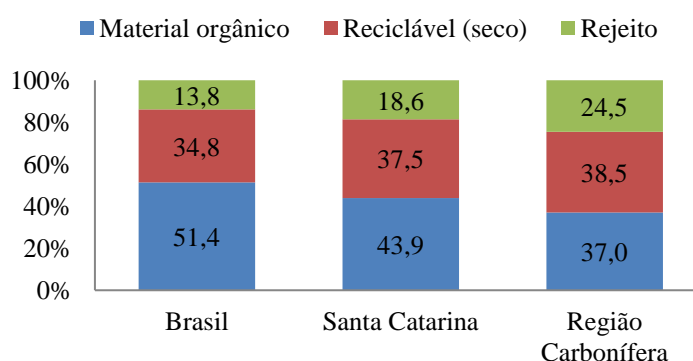
De todo modo, a estimativa de reaproveitamento da fração reciclável seca na região está muito aquém do que efetivamente poderia ser praticado, assim como ocorre no cenário nacional. Em média, 55% da população da AMREC é atendida pelo serviço de coleta seletiva. Os municípios cujas taxas são inferiores à média são Lauro Muller, Orleans, Urussanga e, sobretudo, Nova Veneza.

No cenário regional, a taxa de desvio das vias de disposição final é semelhante ao panorama nacional: em média, 2,6% do montante coletado está deixando de ser aterrado e seguindo para as unidades de triagem locais.

4.2.2 Composição gravimétrica, geração e valorização dos resíduos vítreos na Região Carbonífera

Na Região Carbonífera, onde são geradas cerca de 93,5 mil t/ano de RSU, a fração seca potencialmente reciclável (38,5%) equipara-se à fração orgânica (37,0%). De modo geral, a composição gravimétrica média da Região Carbonífera difere dos dados estaduais e nacionais no que se refere ao percentual de matéria orgânica e de rejeito: gera-se mais rejeito e menos matéria orgânica (Figura 49).

Figura 49 – Comparativo da composição gravimétrica dos RSU em relação às frações orgânica e reciclável seca e ao rejeito, Brasil, Santa Catarina e Região Carbonífera.



Fonte: Elaborado pela autora, adaptado de (BACK, 2011; BRASIL, 2012; CIRSURES, 2013; NOVA VENEZA, 2013; SANTA CATARINA, 2014; CRICIÚMA, 2016; IÇARA, 2016; SIDERÓPOLIS, 2016).

A Tabela 18 mostra a composição gravimétrica de RSU provenientes da coleta convencional urbana dos 12 municípios integrantes da AMREC. De acordo com tais dados, Siderópolis é o município com o percentual mais elevado de material seco potencialmente reciclável, seguido por Içara e Orleans – acima de 43%. Em contrapartida, Forquilha e Treviso apresentam geração mais acentuada de matéria orgânica. Entre os municípios que mais descartam rejeito estão Treviso, Urussanga e Morro da Fumaça – superior a 27%.

A partir do percentual de vidro na composição gravimétrica de cada município da AMREC, chegou-se ao percentual médio de 4,0% de resíduos vítreos presentes na massa de RSU descartada na região. Logo, um habitante residente na AMREC gera, em média, 216,0 kg de RSU ao longo de um ano, dos quais, 8,4 kg/hab./ano são de resíduos vítreos, conforme Figura 50.

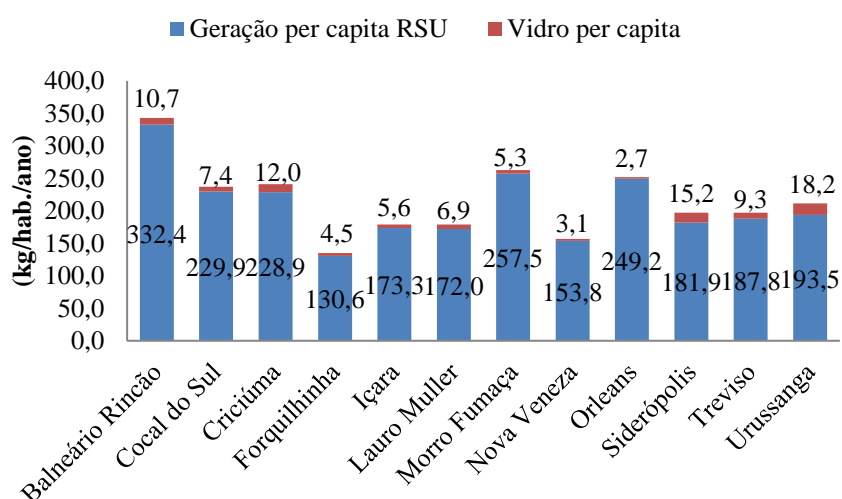
Tabela 18 – Composição gravimétrica dos RSU provenientes da coleta convencional urbana e percentual de vidro, AMREC.

Município	Fração Compostável	Fração Reciclável ¹	Rejeito ²	% vidro na composição gravimétrica
Balneário Rincão	29,86	45,91	24,2	3,1
Cocal do Sul	35,3	41,7	23,0	3,1
Criciúma	36,4	41,2	22,4	5,0
Forquilha	51,7	24,3	24,0	3,3
Içara	29,9	44,5	25,6	3,1
Lauro Muller	35,1	40,7	24,2	3,9
Morro da Fumaça	37,7	35,1	27,2	2,0
Nova Veneza	38,0	42,0	20,0	2,0
Siderópolis	34,5	45,2	20,3	1,1
Orleans	34,3	43,2	22,5	7,7
Treviso	41,1	28,5	30,4	4,7
Urussanga	33,5	37,0	29,5	8,6
Média	37,0	38,5	24,5	4,0

¹Inclui materiais secos: papel, papelão, multicamadas ou tetrapak, plástico, vidro e metal; ²Inclui “outros materiais”, “diversos”, resíduos sanitários/fraldas, panos/trapos/têxteis, madeira, perigosos/eletrônicos. Fonte: Elaborado pela autora, adaptado de (BACK, 2011; CIRSURES, 2013; NOVA VENEZA, 2013; CRICIÚMA, 2016; IÇARA, 2016; SIDERÓPOLIS, 2016).

Em Urussanga, onde cerca de 9% do total de RSU descartado é vidro, infere-se que cada habitante produza ao longo de um ano aproximadamente: em média, 18,2 kg desse material. Em Orleans, em contrapartida, a geração de vidro não ultrapassa 3,0 kg/hab./ano.

Figura 50 – Estimativa da massa *per capita* coletada de RSU e de vidro (kg/hab./ano), por município da Região Carbonífera.

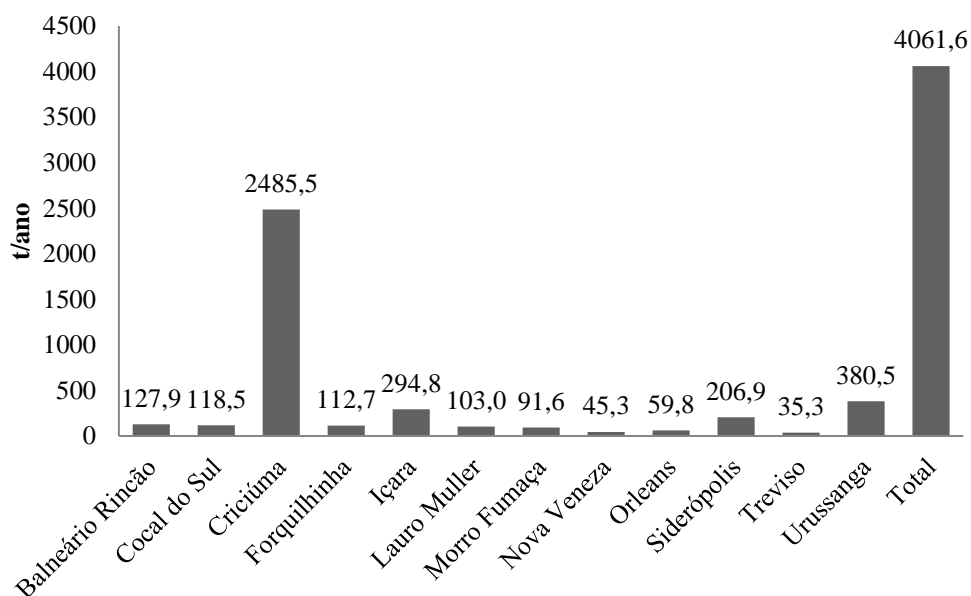


Fonte: Elaborado pela autora a partir dos PMGIRS.

Essa disparidade pode ter sido influenciada pela técnica de amostragem, bem como, refletir o perfil de consumo de bebidas, especialmente, em cidades onde culturalmente há produção de vinho – como é o caso de Urussanga – ou se inserem em rotas turísticas de gastronomia e comercialização de bebidas.

Portanto, o potencial total de vidros descartados na coleta convencional é de aproximadamente 4,1 mil t/ano, equivalentes a 338,5 t/mês ou 11,3 t/dia. Criciúma e Urussanga são os maiores geradores de resíduos vítreos na região, contribuindo com, respectivamente, 61,2% e 9,4% desse montante (Figura 51).

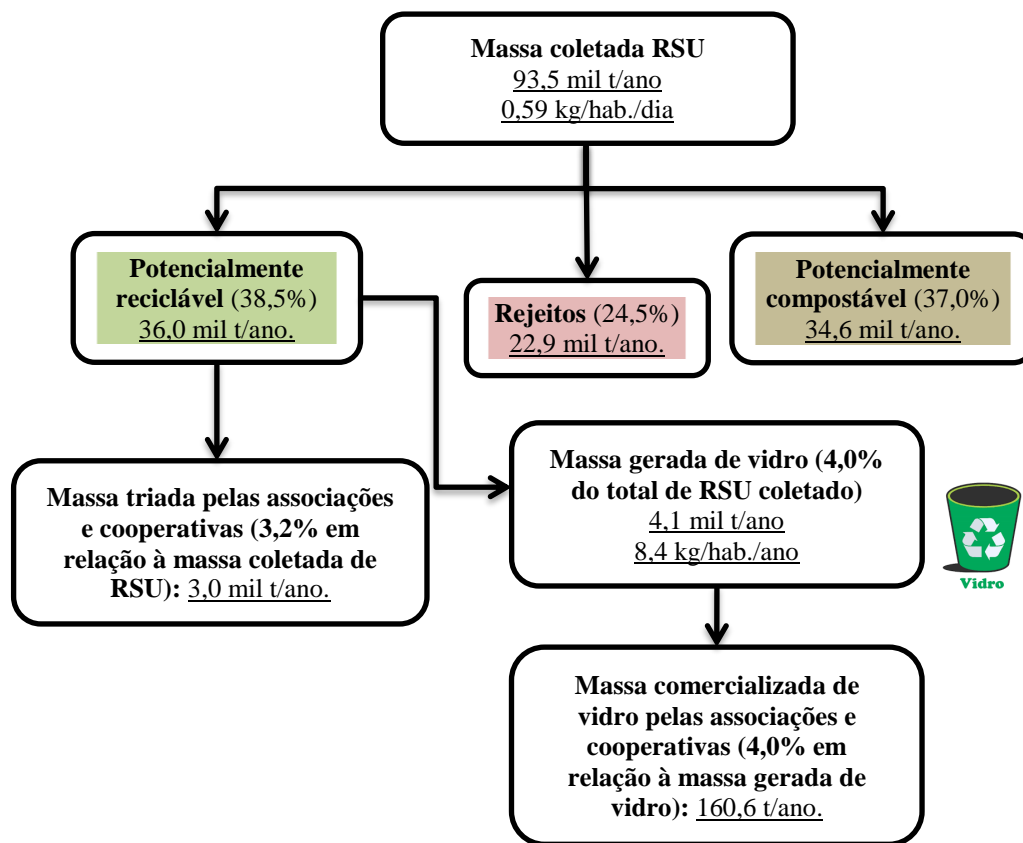
Figura 51 – Estimativa do potencial de material vítreo na massa de RSU coletada, por município da Região Carbonífera.



Fonte: Elaborado pela autora a partir dos PMGIRS.

Da totalidade de RSU descartada na Região Carbonífera, na ordem de 93,5 mil t/ano, cerca de 36 mil t/ano equivalem a materiais potencialmente recicláveis. No entanto, as unidades de triagem recebem, em média, 3 mil t/ano, ou seja, 3,2% do total de RSU descartado. Quanto aos resíduos vítreos, embora sejam geradas aproximadamente 4,1 mil t/ano, são comercializadas pelas associações e cooperativas locais somente 160,6 t/ano de vidro na forma de caco misto, revelando um percentual de reaproveitamento de cerca de 4,0% desse material, conforme ilustra o fluxograma da Figura 52.

Figura 52 – Estimativa de geração e recuperação dos resíduos vítreos na Região Carbonífera.



Fonte: Elaborado pela autora.

De modo geral, os resíduos de vidro são coletados pelo serviço de coleta seletiva ofertado pelas prefeituras municipais, na modalidade porta-a-porta e misturados aos demais recicláveis. No caso dos municípios consorciados, quando há descarte expressivo de algum tipo de resíduo reciclável em particular, a coleta pontual pode ser solicitada junto ao CIRSURES.

Através das entrevistas e da pesquisa documental, foram relatadas iniciativas de valorização dos resíduos vítreos por parte das prefeituras de Balneário Rincão, Morro da Fumaça, Nova Veneza e Orleans, que vão além da coleta seletiva porta-a-porta regularmente ofertada.

O entrevistado, representante do município de Morro da Fumaça, revelou a existência de um projeto em parceria entre a fundação ambiental municipal e uma associação de cerâmica artística sediada na cidade, com o objetivo de reciclar os resíduos vítreos, incorporando-os na fabricação de artefatos cerâmicos. A iniciativa contemplaria a instalação de PEV's exclusivos para a coleta monomaterial.

Uma vez que o projeto estava no seu início, não foram fornecidos maiores detalhes pelo entrevistado. Entretanto, de acordo com reportagem veiculada em 2017, constatou-se que a iniciativa foi implementada. O ecoponto para coleta de garrafas e recipientes de vidro foi instalado e está à disposição da população na área central do município (RECCO, 2017).

Semelhante ao que ocorreu em Morro da Fumaça, o entrevistado de Orleans relatou que a fundação ambiental municipal foi contatada por uma empresa do segmento cerâmico, com o propósito de receber o vidro pós-consumo descartado no município. Caberia à fundação, as práticas de coleta, triagem e limpeza do material. Para tanto, foi feito um esforço no sentido de conscientização da população, que felizmente reverteu em uma quantidade significativa de vidro coletada e armazenada no pátio da fundação. No entanto, a empresa não foi mais encontrada, tampouco entrou em contato para receber o vidro estocado.

À população de Nova Veneza foi disponibilizado o serviço de coleta monomaterial de vidro (Figura 53), por iniciativa da Confraria Neoveneziana Pan & Vin em parceria com uma empresa do segmento metalúrgico da cidade. A proposta de destinação do vidro, denominada “Limpo fica mais bonito”, consistiu na colocação de uma caçamba, que se deslocaria por diferentes pontos da cidade. Recomendou-se que alguns tipos de vidro não fossem descartados no ecoponto: tubos de imagem, lâmpadas e vidros automotivos (NOVA VENEZA, 2013).

Figura 53 – Coletor de vidro no município de Nova Veneza, SC.



Fonte: (NOVA VENEZA, 2013, p. 123).

Entretanto, no plano não foram fornecidas informações sobre a forma de reaproveitamento do vidro coletado. E quando procurada para comentar sobre o projeto, não houve retorno pela Confraria Neoveneziana Pan & Vin (NOVA VENEZA, 2013).

O município de Nova Veneza é o único da Região Carbonífera onde a coleta seletiva é ofertada exclusivamente através de PEV's (Figura 54). A composição gravimétrica dos resíduos descartados na área central da cidade revelou que 40,5% do material amostrado constitui-se por vidro; um percentual bastante significativo diante de todos os tipos de materiais recicláveis encontrados (SILVA, 2016).

Figura 54 – Coleta seletiva através de PEV's em Nova Veneza, SC.



Fonte: (SILVA, 2016, p. 26).

Em Balneário Rincão, constatou-se a execução da coleta seletiva pela ECOVIDROS. A empresa, sediada em Morro da Fumaça, firmou parceria com a administração pública municipal por meio da Secretaria de Pesca, Agricultura e Meio Ambiente com a finalidade de coletar os RSU gerados na alta temporada, com interesse, especialmente, nos resíduos vítreos. A Figura 55 ilustra um dos ecopontos instalados, destinados à coleta de plástico, papel, metal e vidro.

Figura 55 – Coleta seletiva em Balneário Rincão, com foco nos resíduos vítreos.



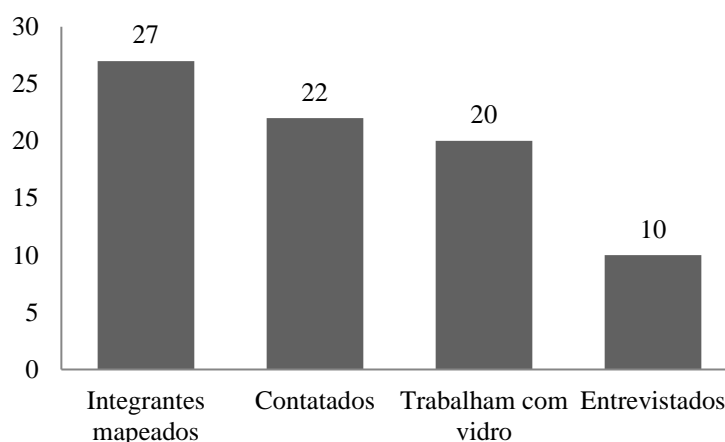
Fonte: (ENGEPLUS, 2015).

5 DIAGNÓSTICO DA CADEIA DE RECICLAGEM DE VIDRO NA REGIÃO CARBONÍFERA

5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS: UM PANORAMA GERAL

No que se refere ao cenário da Região Carbonífera, tendo em vista as entrevistas realizadas e a partir das informações obtidas por meio das pesquisas documental e eletrônica, chegou-se a um universo de 27 possíveis atores da cadeia de reciclagem de vidro, cuja atuação abrange além de SC, os estados do PR, RS e SP. Desse universo, foi possível contatar 22 atores, dentre os quais, 20 informaram trabalhar com resíduos vítreos. Destes, 10 aceitaram contribuir por meio da entrevista, conforme detalhamento da Figura 56. A lista de todos os atores mapeados encontra-se no APÊNDICE 2.

Figura 56 – Caracterização da pesquisa em relação ao número de potenciais integrantes da cadeia de reciclagem de vidro pós-consumo identificados, contatados e entrevistados (etapas II e III).



Fonte: Elaborado pela autora.

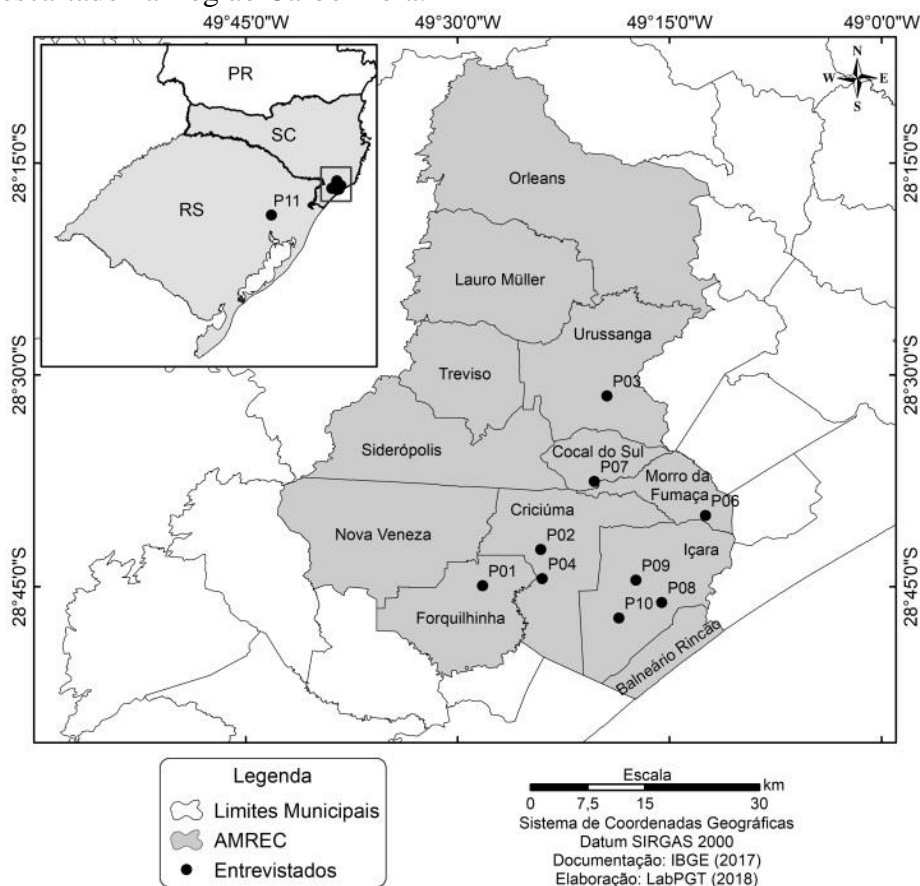
Na etapa I, além das principais unidades de triagem que recebem os recicláveis recolhidos pela coleta seletiva na região, foram mencionados pelos entrevistados como potenciais integrantes, catadores autônomos, intermediários e recicladores.

Os técnicos de Balneário Rincão, Içara, Morro da Fumaça e Nova Veneza, particularmente, se referiram a catadores autônomos como integrantes fortemente atuantes no mercado local da reciclagem e popularmente conhecidos nos municípios onde atuam. De todo modo, optou-se por não os ter como sujeitos de pesquisa nas etapas seguintes, tendo em vista a dificuldade de encontrá-los ou mesmo o fato de não trabalharem com resíduos vítreos.

No caso daqueles cujo contato foi possível, alegou-se como fatores limitantes que não o inserem na cadeia investigada a baixa rentabilidade e a falta de compradores para esse material. Partindo do pressuposto de que os catadores autônomos dificilmente dispõem de infraestrutura adequada em termos de coleta e espaço de armazenamento, o vidro fica em desvantagem em relação aos demais recicláveis.

Logo, acredita-se que a base da cadeia de reciclagem, por conta das particularidades desse material, compõe-se por associações e cooperativas cuja atuação se dá em paralelo com os sistemas de coleta seletiva municipais e que tenham condições de armazená-lo e comercializá-lo. A Figura 57 ilustra a localização dos sujeitos entrevistados.

Figura 57 – Distribuição dos entrevistados, integrantes da cadeia de reciclagem de vidro pós-consumo descartado na Região Carbonífera.



Fonte: LabPGT (2018).

Na etapa II também foram identificados agentes que trabalham com diferentes tipos de vidro, alguns exclusivamente com a revenda de embalagens unitárias. No entanto, nenhum dos representantes da rota de reutilização ou condicionamento do vidro, cujo contato foi possível, aceitou ser entrevistado. Possivelmente, essa negativa pode ser um indício de

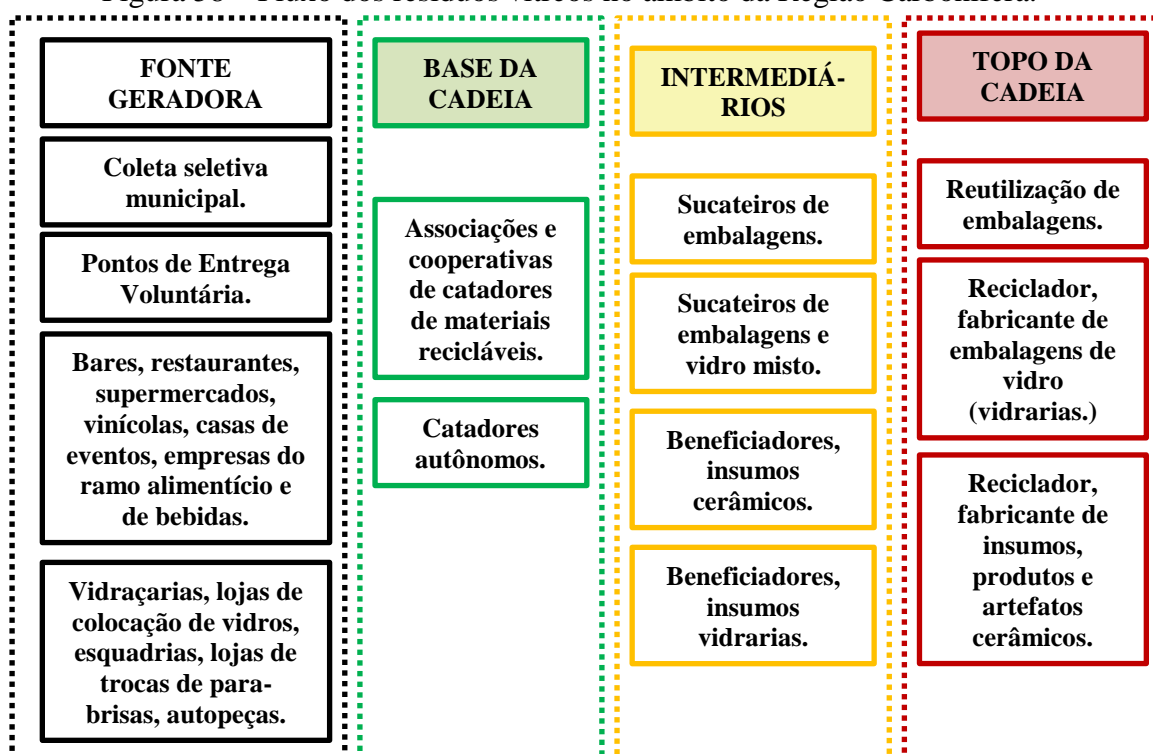
atuação no mercado de reuso ilegal de embalagens, tendo em vista que, segundo a ABIVIDRO (2011), trata-se de uma prática comum na cadeia investigada, que acaba desviando o vidro da rota de reciclagem.

Por fim, na etapa III, chegou-se aos grandes recicladores que absorvem a maior parte do vidro descartado na região: fabricantes de embalagens (vidrarias) sediados em SP e RS. Mesmo contando com entrevistados de todas as unidades produtivas típicas da cadeia, salienta-se que dentre os grandes recicladores contatados, fabricantes de embalagens de vidro, não se obteve nenhum aceite para a realização da entrevista, seja por telefone, contato na *website* da empresa ou por endereço eletrônico.

Dos 10 sujeitos de pesquisa entrevistados, nove se inserem na AMREC. As organizações de catadores situam-se nos municípios de Criciúma, Forquilha e Urussanga; e os demais agentes, entre sucateiros, beneficiadores e recicladores, encontram-se sediados em Cocal do Sul, Morro da Fumaça e em Içara. Destaca-se o aceite de entrevista por parte de um beneficiador sediado no RS.

Como principais resultados, tem-se a classificação, quantificação, localização dos integrantes mapeados por unidade produtiva e por tipo de produto comercializado. A Figura 58 ilustra o fluxo percorrido pelos resíduos vítreos descartados e reaproveitados no âmbito da AMREC.

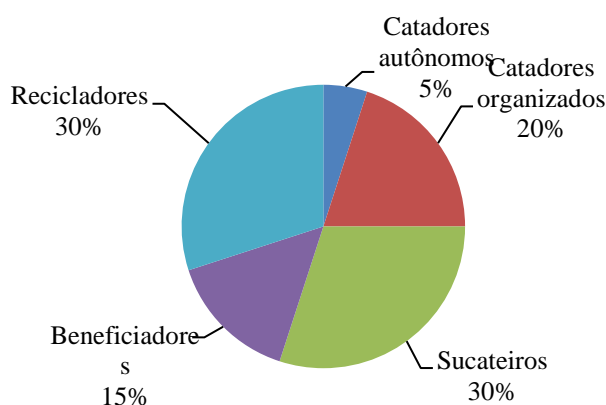
Figura 58 – Fluxo dos resíduos vítreos no âmbito da Região Carbonífera.



Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 59 apresenta o percentual de atores que trabalham com resíduos vítreos na região, por unidade produtiva. Verificou-se que 25% dos integrantes ocupam a base da cadeia de reciclagem de vidro, enquanto 45% fazem a intermediação entre a base e o topo: 30% como sucateiros e 15% como beneficiadores. Quanto aos agentes que de fato reciclam o vidro no seu processo produtivo, estes representam 30% da composição da cadeia. Considerou-se para esta estimativa a totalidade de sujeitos contatados que trabalham com resíduos de vidro.

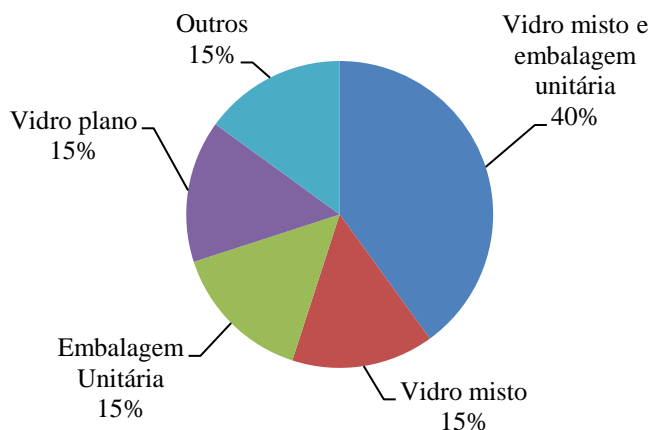
Figura 59 – Distribuição dos integrantes da cadeia de reciclagem de vidro pós-consumo descartado na Região Carbonífera, por unidade produtiva.



Fonte: Elaborado pela autora.

Quanto aos tipos de produtos comercializados (Figura 60), independentemente da unidade produtiva, constatou-se que a maioria dos integrantes se dedica paralelamente à revenda das embalagens unitárias e à compra ou venda de vidro misto.

Figura 60 – Distribuição dos tipos de produtos comercializados pelos integrantes da cadeia de reciclagem de vidro pós-consumo descartado na Região Carbonífera – abrangência: SC, RS, SP.

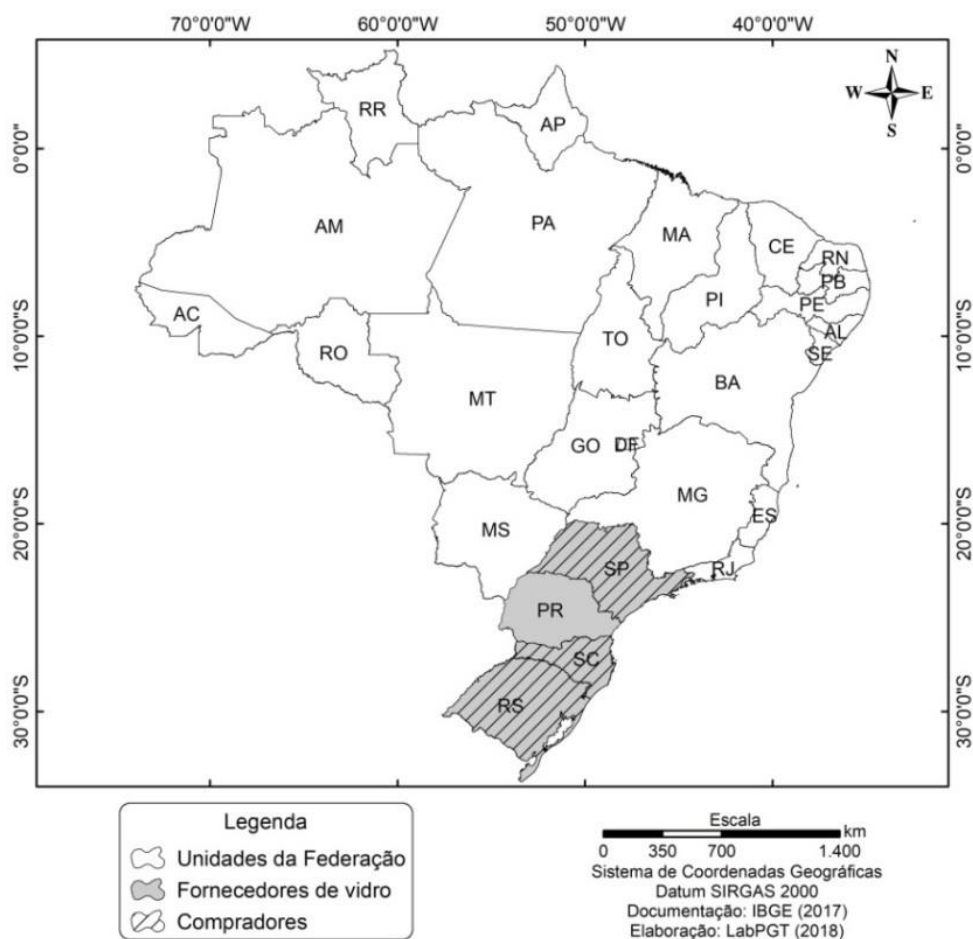


Fonte: Elaborado pela autora.

Os percentuais para os demais tipos de vidro se mostraram equiparados. Na classe “outros” se inserem àqueles que trabalham com vidros planos em conjunto com vidros técnicos ou mistos, além dos recicladores que compram vidro moído.

No que diz respeito à abrangência das relações de compra e venda estabelecidas entre os agentes mapeados, verificou-se que os fornecedores de vidro para as associações, cooperativas de catadores, sucateiros, beneficiadores e recicladores atuantes na área de abrangência da AMREC se encontram nos estados de SP, PR, RS e, sobretudo, SC. Quanto aos compradores, constatou-se que o polo de reciclagem para esse material se concentra em SP, SC e RS, conforme mostra a Figura 61. Nos estados de SP e RS, particularmente, a reciclagem de caco misto se dá pelas vidrarias; e em SC, pela indústria cerâmica.

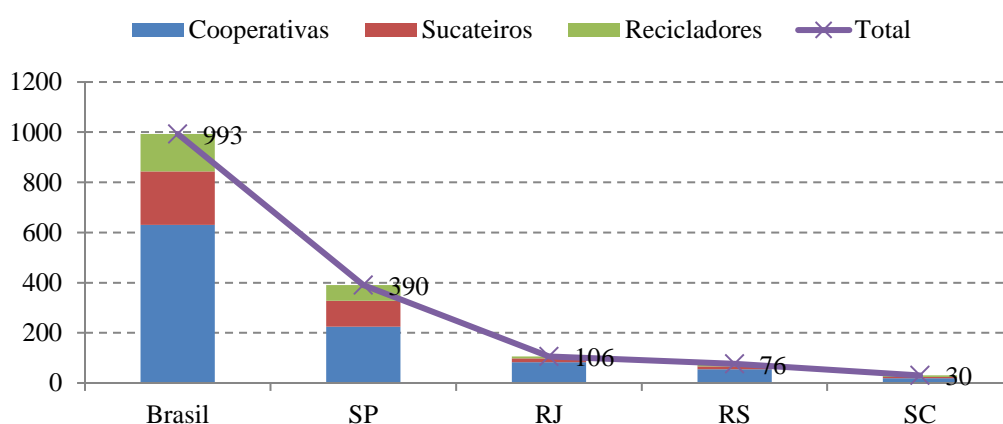
Figura 61 – Localização dos fornecedores e compradores de resíduos vítreos pós-consumo, no âmbito da Região Carbonífera – abrangência: SP, PR, SC e RS.



Fonte: (LABPGT, 2018).

A pesquisa ao banco de dados do CEMPRE, selecionando vidro como material de busca, resultou em 993 registros de integrantes da cadeia de reciclagem deste material no país (Figura 62). Cerca de 65% desse montante constitui-se por cooperativas, que trabalham com multimateriais, dentre os quais, o vidro. No estado de Santa Catarina foram encontradas 19 cooperativas, cinco sucateiros e seis recicladores registrados, totalizando 30 atores ligados à cadeia em análise.

Figura 62 – Número de integrantes da cadeia de reciclagem de vidro, de acordo com banco de dados do CEMPRE.



Fonte: Elaborado pela autora embasada em CEMPRE (2018).

Observa-se que a composição da pirâmide de reciclagem é comum em âmbito nacional e entre os estados de SP e RJ onde as associações e cooperativas encontram-se em maior número, e no topo há um número reduzido de empresas que utilizam o vidro como insumo produtivo. Para os estados do RS e SC o número de intermediários e recicladores é equiparado. Além disso, em relação aos demais recicláveis usualmente comercializados, o vidro possui um número menor de agentes que efetivam as relações de compra e venda ao longo de toda a cadeia.

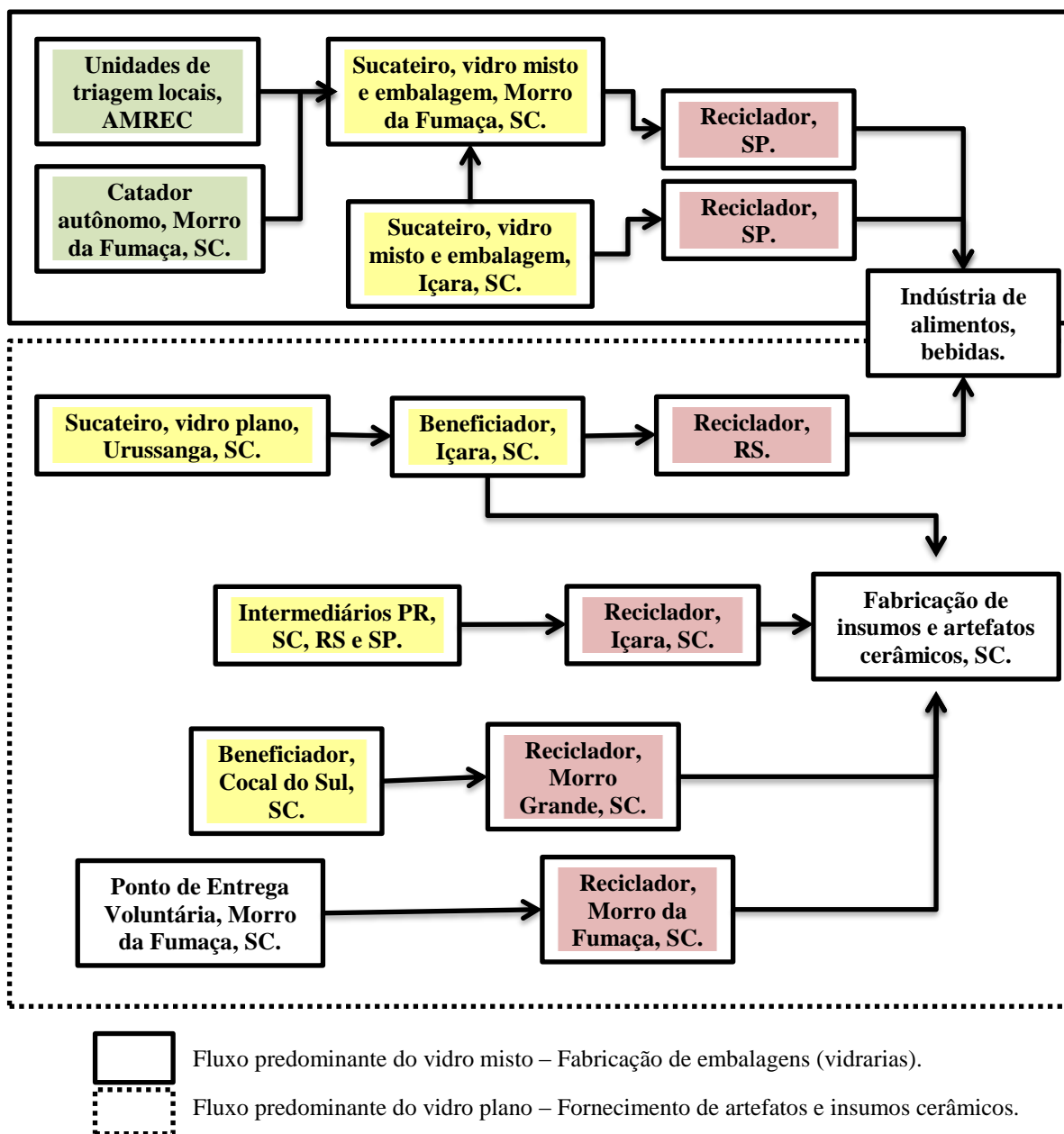
Lemos (2012), em sua pesquisa sobre a cadeia de reciclagem de vidro no estado de Santa Catarina, contou com a contribuição de 15 associações e cooperativas, nove intermediários e três indústrias recicladoras, totalizando 27 atores, número bastante próximo aos dados encontrados no banco de dados do CEMPRE para SC.

No caso da Região Carbonífera, foram identificados 20 atores, dentre os quais, cinco integrantes da base da cadeia, nove intermediários e seis recicladores. Considerando as diversas tipologias de vidro com as quais os atores mapeados trabalham, percebeu-se que além dos polos de reciclagem mencionados por Aquino, Castilhos Jr. e Pies (2009) e por

Lemos (2012), localizados nos estados do RS e SP, há representantes do topo da cadeia situados mais próximos da fonte geradora, isto é, no sul de SC.

De modo geral, observou-se dois grandes fluxos a partir de todo o mapeamento realizado ilustrados pela Figura 63: um deles que culmina com a reciclagem de vidro misto pelas vidrarias em outros estados; e o outro, representado pelo beneficiamento e reciclagem do vidro em âmbito regional, através da fabricação de artefatos e insumos cerâmicos.

Figura 63 – Detalhamento das rotas características do vidro pós-consumo descartado ou reaproveitado no âmbito da AMREC, embasado nos atores mapeados.



Fonte: Elaborado pela autora.

Admitindo os sujeitos entrevistados atuantes com vidro misto, verificou-se a predominância de relações de venda de “nível 1”, de acordo com a classificação de Aquino, Castilhos Jr. e Pires (2009). A comercialização dos resíduos vítreos se estabelece, na sua maioria, com e entre intermediários e com até uma indústria recicladora.

A nomenclatura sugerida por Rutkowski, Varella e Campos (2014) é bastante interessante para o vidro, pois trata claramente da principal diferença entre o sucateiro e o beneficiador, se referindo aos revalorizadores como aqueles que transformam o lixo em matéria-prima para outra indústria, perfeitamente aplicável aos atores que moem o vidro e os fornecem para indústrias do segmento cerâmico. Os recuperadores do tipo 1 ou 2 compreendem a maioria dos sujeitos de pesquisa e são representados na unidade de estudo, pelas associações, cooperativas e sucateiros que praticam a revenda de vidro misto e de embalagens unitárias.

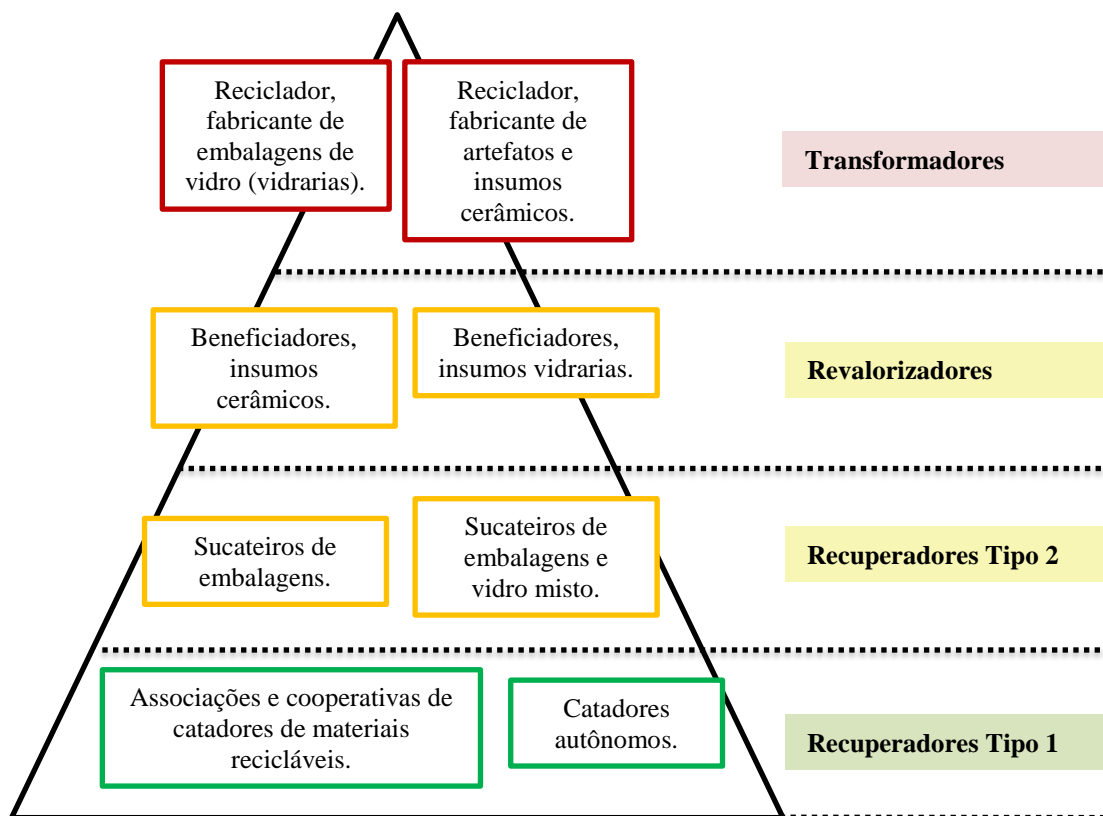
Comparativamente, os recuperadores sugeridos por Rutkowski, Varella e Campos (2014) equivalem aos distribuidores, de acordo com a proposta de Conceição *et al* (2016). Os recicladores-beneficiadores desempenham as mesmas atividades dos revalorizadores. Referente ao topo da cadeia, observou-se a presença de diversos recicladores, transformadores ou recicladores-transformadores, que de fato fecham o ciclo, tendo em vista que fazem a refundição do material vítreo modificando física e quimicamente as suas propriedades, como determina o conceito da PNRS (BRASIL, 2010).

A Figura 64 mostra a hierarquia da cadeia de reciclagem de vidro no âmbito da Região Carbonífera, empregando a terminologia de Guadagnin *et al* (2018), a qual acredita-se atribuir mais claramente as funções de cada integrante.

Tendo em vista as diversas ações que um mesmo integrante pode desempenhar (distribuidor, classificador, beneficiador, revalorizador, recuperador, reciclador), não há uma nomenclatura fixa ou padrão, tampouco um limite claramente demarcado entre as relações comerciais passíveis de serem estabelecidas.

Como o mercado da reciclagem caracteriza-se por flutuações constantes, os seus agentes, na medida do possível, moldam-se ao cenário que mais lhes favorece financeiramente para permanecer nesse arranjo mercadológico.

Figura 64 – Hierarquia da cadeia de reciclagem de vidro pós-consumo no âmbito da AMREC.



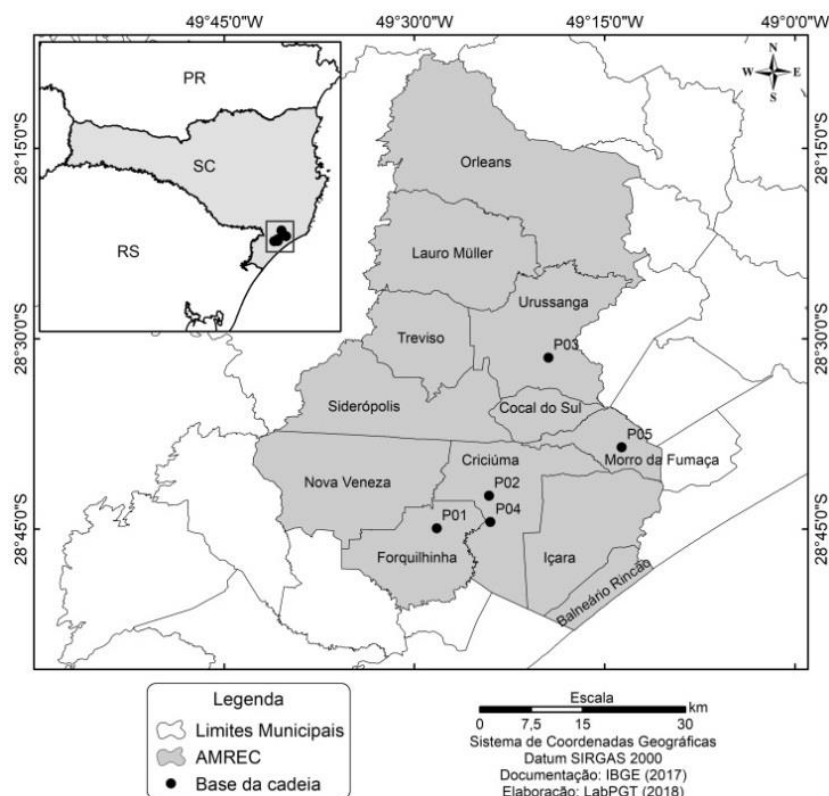
5.2 SITUAÇÃO DA BASE DA CADEIA DE RECICLAGEM DE VIDRO

A Figura 65 mostra os integrantes mapeados situados na base da cadeia de reciclagem de vidro descartado no âmbito da AMREC, representada pela atuação de catadores organizados. São quatro unidades de triagem locais que trabalham com os recicláveis encaminhados pela coleta seletiva de Criciúma, Forquilha, Nova Veneza e dos sete municípios consorciados ao CIRSURES.

Além delas, dentre os catadores autônomos cujo contato foi possível, constatou-se que um deles, situado em Morro da Fumaça, também se insere nos fluxos de comercialização do vidro pós-consumo.

As unidades de triagem analisadas trabalham com multimateriais e triam, em conjunto, um montante de 12 t de recicláveis diariamente. De acordo com os entrevistados, no entanto, a taxa média de rejeito chega a 50%, admitindo que a qualidade do material recebido varia consideravelmente em função dos itinerários. A produtividade média de triagem por catador é de cerca de 160 kg/dia/catador.

Figura 65 – Distribuição dos integrantes mapeados da base da cadeia de reciclagem de vidro – abrangência: AMREC, SC.



Fonte: (LABPGT, 2018).

No tocante à infraestrutura (área disponível), ao número de membros e à renda mensal (Tabela 19), constatou-se que a ACRICA possui uma área útil bastante reduzida e uma renda média mensal (R\$ catador/mês) inferior às demais unidades. Em contrapartida, detém o valor mais alto de produtividade em relação ao material triado (kg/dia/catador). A ACAFOR possui um número menor de membros, bem como, uma produtividade inferior, no entanto, compreende a organização em que os associados são mais bem remunerados.

Tabela 19 – Caracterização comparativa das unidades de triagem atuantes na Região Carbonífera em relação à quantidade total triada, infraestrutura, nº de colaboradores, renda média mensal e produtividade.

Unidade	Quant. triada (t/dia)	Infraestrutura (m ²)	Nº de membros	Renda média (R\$ catador/mês)	Produtividade (kg/dia/catador)
ACAFOR	1,2	600	15	1.300,00	80
ACRICA	5,0	300	18	800,00	278
COOPERAMÉRICA	2,4	1.200	22	1.200,00	109
CTMAR	3,5	1.000	20	900,00	175
Soma	12,1	3.100	75	Média 1.050,00	Média 160

Fonte: Elaborado pela autora a partir das entrevistas.

A partir da tentativa de contato junto aos presidentes das unidades de triagem locais, identificadas na etapa I, constatou-se que todos possuem vidro para comercialização em seus depósitos. Dentre as atividades executadas relativas a este material, especificamente, citam-se : recebimento, triagem e segregação por tipo e cor. A ACAFOR e a COOPERAMÉRICA também realizam a coleta, em conjunto com os demais recicláveis.

Quadro 12 – Atividades executadas pelas unidades de triagem entrevistadas, em relação ao vidro, AMREC, SC.

Unidade	Coleta	Recebimento	Triagem	Segregação por cor	Segregação por tipo	Tipo de vidro
ACAFOR	X	X	X	X	X	VM+E
ACRICA		X	X	X	X	VM+E
COOPERAMÉRICA	X	X	X	X	X	VM+E
CTMAR		X	X	X	X	VM+E
VM	Vidro misto					
E	Embalagem unitária					

Fonte: Elaborado pela autora a partir das entrevistas.

A segregação, inicialmente, é feita por tipo de vidro. Têm-se as embalagens comercializadas por unidade, nas quais se enquadram os potes de conserva (bocudos), embalagens de café solúvel e, sobretudo, as garrafas de bebidas chamadas de “garrafas de marca”. Para estas também se faz a segregação por cor, já que existe diferença de preços.

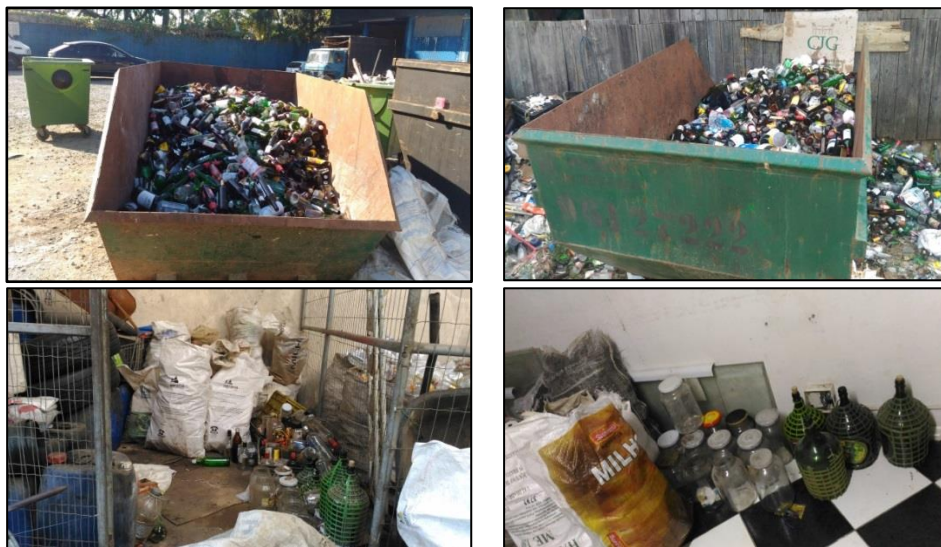
Além das embalagens unitárias, comercializa-se o vidro em caco por tonelada, conhecido comercialmente como vidro misto. Nessa categoria se inserem o restante das embalagens, especialmente garrafas de cerveja de cor âmbar e embalagens danificadas.

A segregação por cor é realizada pontualmente de acordo com o volume de embalagens estocadas. As embalagens unitárias são armazenadas em área coberta e o vidro misto é acondicionado em uma caçamba sem tampa, em área aberta. A Figura 66 ilustra a forma de segregação e de armazenamento nas unidades de triagem entrevistadas.

De acordo com o presidente da ACAFOR, as embalagens de vidro com maior valor comercial, vendidas por unidade, são as garrafas de bebidas com tampa de plástico. O entrevistado da ACRICA esclareceu que há compradores específicos para as “garrafas de marca”, para os potes de conserva e de café solúvel e para o vidro misto.

Logo, verificou-se que não há qualquer prática de agregação de valor aos resíduos vítreos (limpeza de impurezas, trituração, beneficiamento) empregada na base da cadeia. Ademais, as cargas de vidro misto são estocadas em coletores sem tampa e em área aberta, sujeitas a prejuízos de sua qualidade e proliferação de doenças veiculadas pelo acúmulo de água parada.

Figura 66 – Segregação e armazenamento do vidro misto e das embalagens unitárias nas unidades de triagem entrevistadas, AMREC.



Fonte: (SOUZA-DAL BÓ, 2017).

Em suma, observou-se a predominância de duas rotas de escoamento do vidro pelas associações e cooperativas. As embalagens unitárias são absorvidas pelo mercado de revenda para fins de reutilização, cujos agentes compradores são os sucateiros. O vidro misto é comprado por um único sucateiro, que o destina diretamente ao reciclador.

Destaca-se que a COOPERAMÉRICA, segundo o seu presidente, embora tenha vidro estocado para comercialização, não manifestou interesse em continuar trabalhando com este material. O entrevistado alegou, na ocasião da pesquisa, que estava sem comprador e o preço baixo praticado no mercado o torna inviável economicamente. Além disso, a dificuldade de manuseio em função do peso e a ocorrência de acidentes foram apontados como fatores limitantes. As outras unidades entrevistadas (ACAFOR, ACRICA e CTMAR) responderam negativamente, ao serem questionadas sobre a ocorrência de acidentes com o manuseio do vidro.

Os dados da Tabela 20 referem-se à quantidade comercializada de vidro misto, ao valor unitário de venda praticado e ao rendimento mensal obtido pelas unidades de triagem analisadas. A COOPERMÉRICA informou somente o valor de mercado.

Tabela 20 – Caracterização comparativa das unidades de triagem atuantes na Região Carbonífera em relação ao vidro.

Unidade	Quant. comercializada (t vidro/mês)	Valor unitário (R\$/t vidro)	Receita (R\$/mês)
ACAFOR	5,0	30,00	150,00
ACRICA	4,3	30,00	129,00
COOPERAMÉRICA	-	20,00	-
CTMAR	4,0	30,00	120,00
	Soma	Média	Soma
	13,3	27,50	399,00

Fonte: Elaborado pela autora a partir das entrevistas.

São comercializadas mensalmente, um total de 13,3 toneladas de caco misto, o que rende às associações e cooperativas da região: R\$ 400/mês. Admitindo o total de materiais recicláveis triado (244 t/mês), o vidro misto comercializado representa aproximadamente 5,5% de todo o montante recebido.

O valor praticado pela base da cadeia e o sucateiro no âmbito da AMREC, para o vidro misto, está abaixo dos valores informados pela ABIVIDRO (2011) e pelo CEMPRE (2018). No entanto, é o mesmo mencionado por Lemos (2012) para a região sul catarinense. Quanto aos valores unitários das embalagens, têm-se os valores repassados pela ACAFOR e pela ACRICA como referência. Comparando-os com os dados de Lemos (2012), tem-se o seguinte panorama (Tabela 21).

Tabela 21 – Preço das embalagens unitárias de vidro comercializadas na unidade de estudo, AMREC e sul catarinense.

Tipo de embalagem	Região Carbonífera		Sul catarinense
	ACAFOR	ACRICA	
Garrafa de cachaça/vodca	0,25	-	0,07 – 0,15
Garrafa de vinho (1L)	1,50	-	0,07 – 0,15
Garrafas de bebida em geral (1L)	0,20	0,15	-
Garrafão de vinho (5L)	1,25	2,50	0,80
Embalagem de conserva grande	0,50	-	-
Embalagem de conserva pequena	0,25	0,25	-

Fonte: Embasado em (LEMOS; 2012, p. 80) e nas entrevistas.

Com base nos dados do PMGIRS de Criciúma (CRICIÚMA, 2016) e nas entrevistas, observou-se que entre os anos de 2014 e 2017, houve um incremento considerável na quantidade de vidro comercializada pela ACRICA e pela CTMAR. O valor de venda, no entanto, permaneceu inalterado. No plano de Forquilha (FORQUILHINHA, 2010) há uma projeção de arrecadação com a comercialização dos recicláveis. Para o vidro, estimou-se uma venda de 3,84 t à R\$ 100/t; gerando uma receita de R\$ 384/mês. Comparando com os dados

obtidos *in loco*, observou-se que as projeções são consideravelmente superiores ao que é praticado no mercado da reciclagem local.

No que diz respeito às limitações apontadas pelos entrevistados relacionadas ao vidro, todos se referiram à baixa rentabilidade como principal dificuldade. De acordo com o presidente da ACRICA, durante muitos anos não havia comércio para este material, que representa uma fração expressiva do montante que chega à unidade de triagem.

Por parte da COOPERAMÉRICA, do mesmo modo, sinalizou-se para a presença significativa de vidro na massa de recicláveis triada e ponderou-se sobre a pressão para que o vidro não seja aterrado. No entanto, o enchimento de um contêiner implica em mão de obra e em risco de acidente, sendo que no final das contas, cada carga rende em torno de R\$ 40 para a cooperativa. Segundo o presidente da CTMAR, a unidade não deixa de fazer a triagem do vidro, em prol do meio ambiente e para que a prefeitura não tenha custo com a disposição final em aterro.

De modo geral, sobre as principais carências das unidades de triagem em operação na região, citam-se, de acordo com os entrevistados, questões relacionadas à infraestrutura e à falta de apoio por parte das prefeituras. A ACAFOR é a única unidade amparada pelo poder público municipal, sob a ótica do seu presidente. Há uma parceria contínua entre a prefeitura de Forquilha e a associação no sentido de fiscalizar a atuação paralela de catadores autônomos, fornecer EPI's e assessorar em termos administrativos e jurídicos.

Outra queixa que se fez recorrente diz respeito à qualidade dos recicláveis recebidos pelas unidades de triagem, que reflete, indubitavelmente, a ausência de programas de educação ambiental junto à fonte geradora. De acordo com o presidente da ACRICA, antigamente, a unidade recebia um montante maior e melhor segregado. A associação não possui uma área adequada de armazenamento, tampouco dispõe de equipamentos básicos de uma unidade de triagem. A COOPERAMÉRICA, do mesmo modo, não possui equipamentos próprios, uma vez que são cedidos pelo CIRSURES após serem utilizados no aterro.

5.3 SITUAÇÃO DOS INTERMEDIÁRIOS

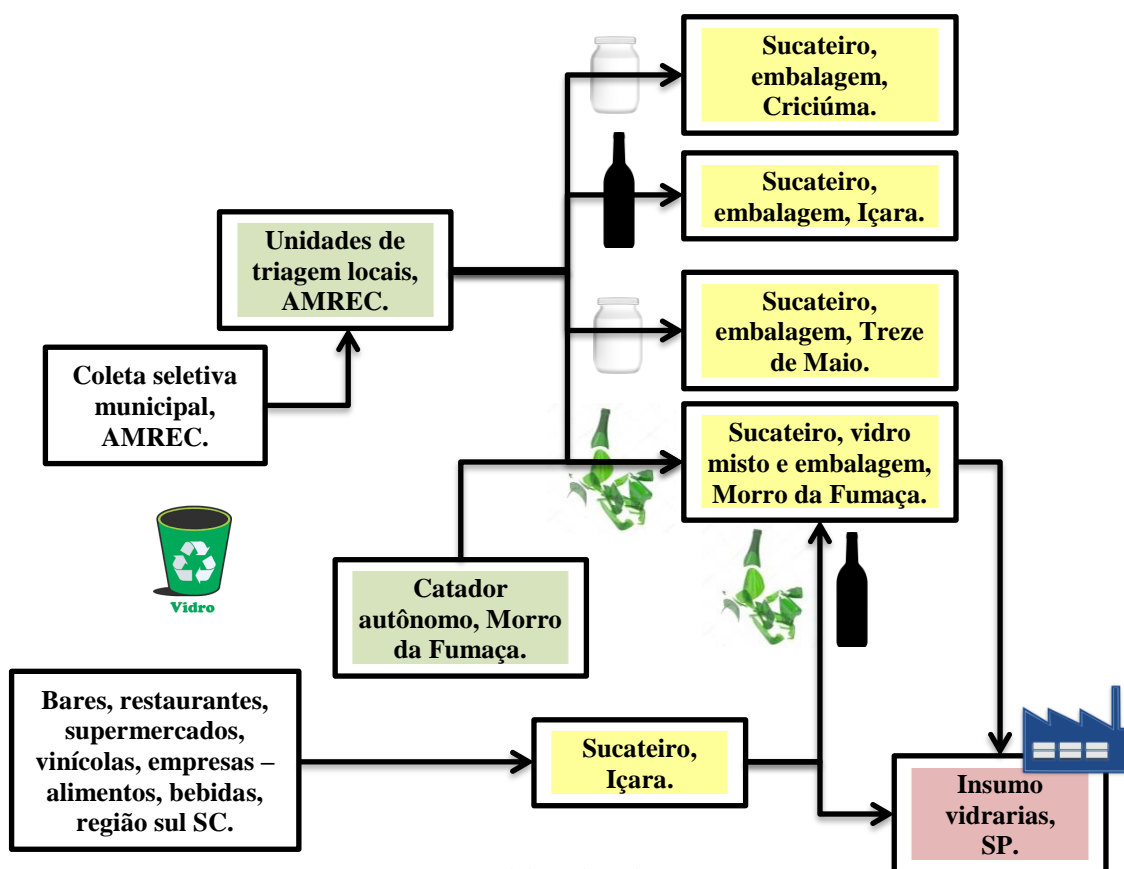
Dentre os integrantes que comercializam vidro com as associações e cooperativas da região, foram mapeados quatro intermediários. Destes, três são sucateiros que revendem embalagens unitárias, situados em Criciúma, Içara e Treze de Maio. Salienta-se que a rota de vidro misto tem como principal intermediário um único sucateiro sediado em Morro da

Fumaça, que compra o vidro em caco da ACAFOR, ACRICA e da CTMAR e também revende embalagens unitárias em menor escala.

O sucateiro mapeado em Içara trabalha com multimateriais e não se insere na rota das associações e cooperativas. O vidro revendido é obtido a partir de fontes difusas, incluindo estabelecimentos comerciais – bares, restaurantes, supermercados, vinícolas – e empresas de diferentes segmentos, sobretudo, alimentício e de bebidas. De todo modo, assim como as unidades de triagem locais, também fornece vidro misto para o sucateiro alocado em Morro da Fumaça. A partir do fluxograma abaixo (Figura 67) é possível identificá-los mais facilmente.

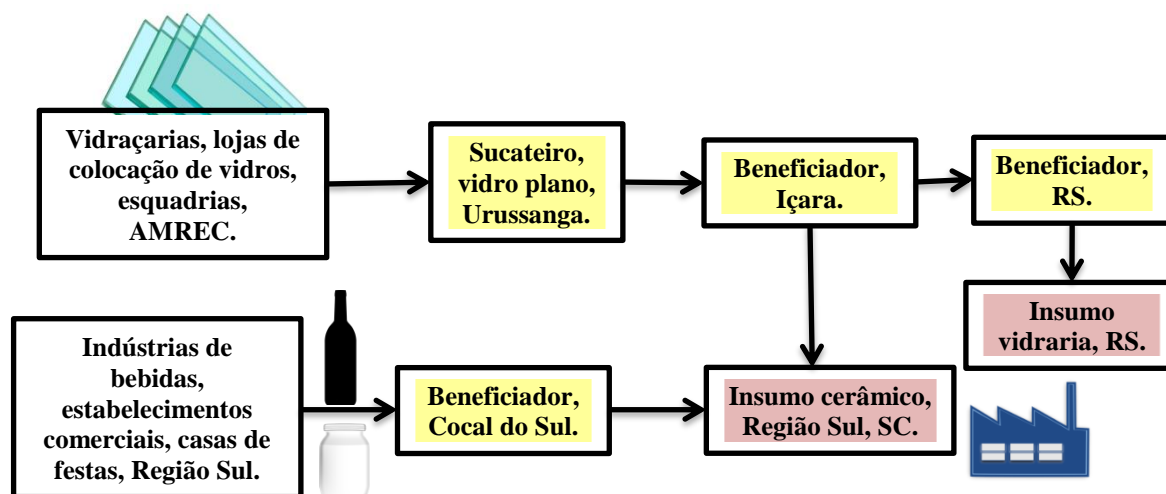
Além desses fluxos que culminam com a revenda de vidro misto e de embalagens unitárias, encontrou-se uma rota bem consolidada de aproveitamento do vidro plano (Figura 68) descartado pelas vidraçarias e indústrias de colocação de vidros e fabricação de esquadrias da região.

Figura 67 – Fluxograma da cadeia de reciclagem de vidro: relações estabelecidas entre a base e os sucateiros, por localização e tipo de vidro (embalagem e misto), AMREC, SC.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 68 – Fluxograma da cadeia de reciclagem de vidro: relações estabelecidas entre a fonte geradora e os intermediários, por localização e tipo de vidro (plano e de embalagem).



Fonte: Elaborado pela autora.

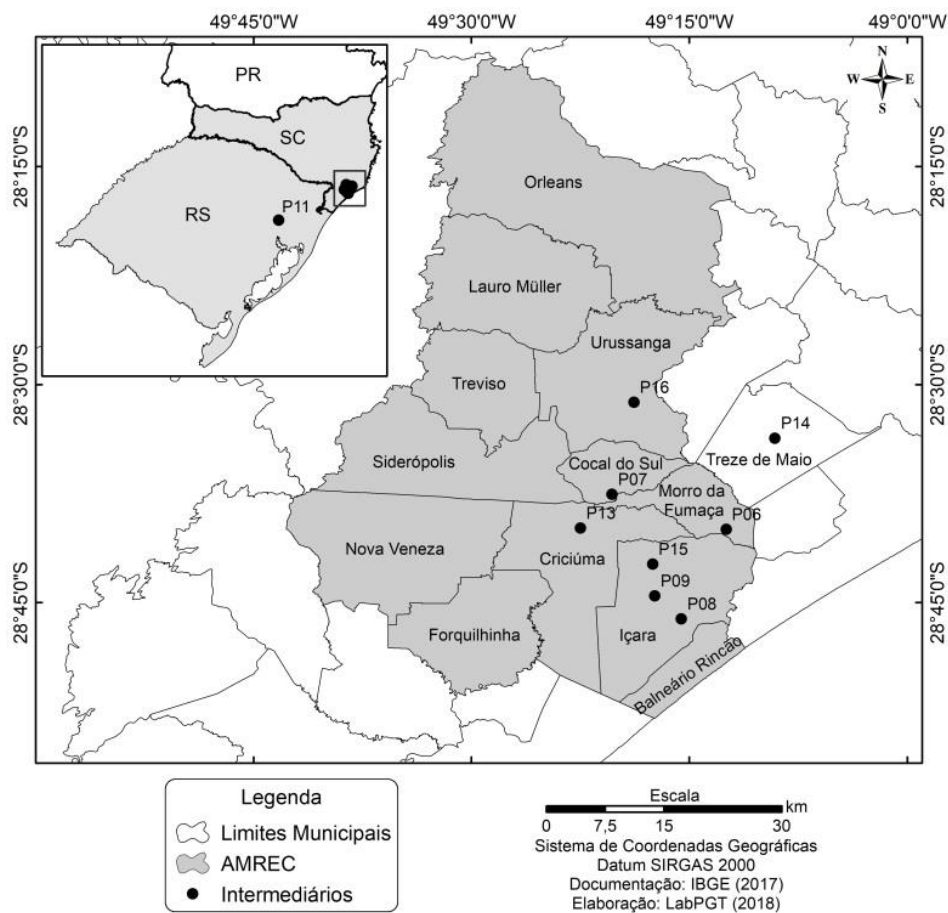
Mapeou-se um sucateiro que faz a coleta exclusivamente desse tipo de vidro junto à fonte geradora e o encaminha até um beneficiador de Içara. Este, encaminha os vidros descartados no seu processo – dentre os quais, o laminado – para outro beneficiador localizado no RS. Logo, o vidro plano é reaproveitado como insumo pelos colorifícios da região e o laminado é beneficiado e reciclado na fabricação de embalagens pelas vidrarias.

Constatou-se que o vidro plano é empregado em conjunto com os vidros especiais para fornecimento de insumos produtivos às vidrarias e às indústrias do segmento cerâmico. Dentre os beneficiadores identificados, o agente situado em Cocal do Sul não trabalha exclusivamente com vidros planos, mas foi inserido nessa rota uma vez que também é um fornecedor de insumos cerâmicos.

Diante do exposto, a Figura 69 ilustra a localização dos atores classificados como sucateiros e beneficiadores mapeados ao longo da pesquisa, totalizando 9 intermediários. Eles se concentram próximos à base da cadeia, com exceção do beneficiador sediado no RS, que trabalha predominantemente com vidro plano laminado.

No que se refere à caracterização dos atores entrevistados – dois sucateiros (Içara e Morro da Fumaça) e três beneficiadores (Cocal do Sul, Içara e RS) – o Quadro 13 apresenta uma compilação dos dados obtidos, relacionados, sobretudo, aos tipos de vidro comprados, atividades desempenhadas e produtos comercializados.

Figura 69 – Distribuição dos integrantes intermediários da cadeia de reciclagem de vidro mapeados – abrangência: SC e RS.



Fonte: (LABPGT, 2018).

Quadro 13 – Caracterização geral dos intermediários entrevistados, inseridos na cadeia de reciclagem de vidro descartado na AMREC, SC.

Caracterização	Sucateiro Morro da Fumaça, SC	Sucateiro Içara, SC	Beneficiador Cocal do Sul, SC	Beneficiador Içara, SC	Beneficiador, RS
Fundação	2015	1970	2015	1997	1997
Nº de funcionários	3	5	2	8	25
Área (m ²)	450	240	300	1.200	-
Tipos de vidro que recebe/compra					
Garrafa/garrafão	X	X	X		
Pote de conserva	X	X	X		
Vidro plano temperado	X	X	X	X	X
Vidro plano laminado	X				X
Tubo de televisão	X	X	X	X	
Vidro de lâmpada				X	
Vidro de ampolas	X	X			
Espelho	X	X			
Procedimentos realizados					
Coleta	X			X	X
Armazenamento a céu aberto		X		X	-
Armazenamento coberto	X	X	X	X	-
Triagem	X	X			-
Segregação por tipo ou cor	X	X			X
Limpeza de impurezas			X	X	X
Moagem			X	X	X
Transporte (entrega)	X		X	X	X
Requisitos gerais					
% impureza vidro comprado	Não interfere	Não interfere	10 – 15%	Até 2%	-
% incorporação no produto	Não se aplica	Não se aplica	Até 10%	Entre 80 e 100%	Não se aplica
% rejeito gerado	Não há	Não há	10%	2%	-
Produto comercializado	Vidro misto e de embalagem	Vidro misto e de embalagem	Insumo cerâmico	Insumo cerâmico	Insumo para vidrarias

Fonte: Elaborado pela autora a partir das entrevistas.

Três das cinco empresas entrevistadas estão no mercado há bastante tempo (1970, 1997 e 1997), ao passo que a atuação dos intermediários mapeados em Morro da Fumaça e em Cocal do Sul é relativamente recente (2015). Sem exceção, em função do número de funcionários, são empresas de pequeno porte que trabalham com diferentes tipos de vidro. Em linhas gerais, se caracterizam pela revenda de embalagens unitárias, de vidro misto (sucata de vidro) e pelo fornecimento de insumos produtivos para indústrias cerâmicas e fabricantes de embalagens de vidro.

O sucateiro de Morro da Fumaça admite a presença de vários tipos de vidro nas cargas compradas junto às associações e cooperativas de catadores locais, excetuando-se vidros de lâmpadas. Dedicar-se à revenda tanto de embalagens unitárias, quanto de vidro misto, sendo que estão dentre as suas atividades, as etapas de coleta e entrega do material. Uma vez que não há beneficiamento, o procedimento realizado consiste, basicamente, nas etapas de colocação das caçambas nos pontos de coleta, recolhimento do material e transporte até o comprador.

A atuação do sucateiro entrevistado localizado em Içara é bastante similar, no que diz respeito aos tipos de vidro comprados e aos produtos revendidos. A diferença entre ambos refere-se aos fornecedores e a responsabilidade pelas etapas de coleta e entrega. O sucateiro de Içara não as realiza. O armazenamento se dá em área aberta (vidro misto) e coberta (embalagem unitária) e não há quaisquer procedimentos que impliquem em agregação de valor aos produtos, conforme mostra a Figura 70.

Figura 70 – Acondicionamento dos resíduos vítreos pelo sucateiro de Içara, SC.



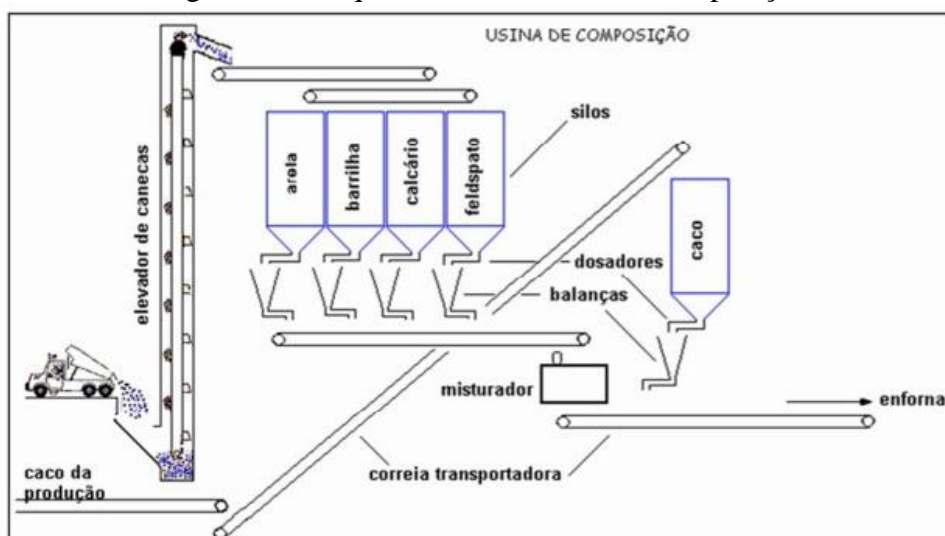
Fonte: (SOUZA-DAL BÓ, 2017).

De acordo com o beneficiador situado em Cocal do Sul, a empresa trabalha com vidros de embalagens diversas, planos temperados e técnicos, recebidos em cacos grosseiros e em chapas. O armazenamento do material se dá em área coberta. Quanto aos procedimentos realizados, citam-se: pesagem, estocagem, limpeza manual (sem água), moagem, peneiramento, formulação, mistura/homogeneização, armazenamento e expedição. Dentre os seus produtos estão o vidro moído ou uma mistura de diversas matérias-primas na qual se insere o vidro moído.

Segundo o beneficiador situado em Içara, o vidro mais buscado pela empresa é o temperado e em menor quantidade, os vidros técnicos. Ambos os tipos são comprados em cacos. O material é armazenado em área coberta e a céu aberto, dependendo do tipo de vidro. Dentre os procedimentos executados, citam-se: a limpeza quando necessário, seguida pela moagem e peneiramento. A etapa posterior denomina-se “compostagem” e se assemelha ao procedimento empregado pelo beneficiador de Cocal do Sul. Caracteriza-se pela dosagem, formulação e mistura de diferentes matérias-primas, incluindo o vidro moído.

A atuação dos beneficiadores de Cocal do Sul e Içara incluem a etapa denominada por Akerman (2014) de “usina de composição” ou “casa de composição” (Figura 71). Ressalvadas as diferenças em termos de capacidade produtiva, tem-se a dosagem das matérias-primas para a qual se insere o vidro em cacos, seguida da formulação e homogeneização. A fusão do insumo produzido (composto), vista na figura abaixo pela etapa de “enforna”, fica a cargo dos clientes finais, sejam eles as vidrarias ou indústrias do segmento cerâmico, que o incorporam na composição dos seus produtos.

Figura 71 – Esquema de uma usina de composição.



Fonte: (AKERMAN, 2014, p. 16).

Em relação ao beneficiador mapeado no Rio Grande do Sul, muitos dados não foram fornecidos. Verificou-se que o mesmo trabalha predominantemente com vidros planos, comprados em cacos ou em chapas, nos quais se inclui o vidro laminado, tipologia que a maioria dos intermediários não trabalha, possivelmente, pela presença de polímero entre as placas de vidro. Os procedimentos usuais não se assemelham à usina de composição (Figura 71), uma vez que o vidro é moído e não há adição de outras matérias-primas.

Ainda no que se refere à atuação dos beneficiadores, de acordo com o Quadro 13 (Requisitos gerais), praticamente não há geração de rejeitos em suas atividades. Para os sucateiros, a quantidade de vidro comprada e revendida é a mesma, de modo que não há rejeito. O beneficiador de Cocal do Sul, que trabalha com vidros de embalagens, admite um percentual maior de impurezas no vidro comprado, comparativamente ao beneficiador de Içara em cujo processo é utilizado vidro plano temperado, praticamente isento de contaminantes.

A quantidade de vidro moído incorporado ao insumo produtivo fabricado por ambos os beneficiadores mapeados na Região Carbonífera varia expressivamente, ainda que sejam destinados igualmente à indústria cerâmica. Para àquele que trabalha com embalagens em geral, o percentual máximo de incorporação no produto final é de até 10%, enquanto o beneficiador que emprega vidro plano no seu processo admite um mínimo de 80% de vidro moído no composto produzido.

No que diz respeito às exigências por parte dos compradores, recicladores inseridos no segmento cerâmico, ambos os beneficiadores (Cocal do Sul e Içara) pontuaram a granulometria. Os sucateiros, fornecedores de vidro misto para as vidrarias, se reportaram ao tamanho do caco e, sobretudo, à ausência de impurezas específicas – louça de cerâmica, pedras e lâmpadas. Para a revenda de embalagens unitárias, de acordo com o sucateiro de Içara, as mesmas devem estar isentas de lascas ou defeitos e consideravelmente limpas.

O número de compradores e de fornecedores, bem como a sua localização (Quadro 14), compreendem dados relevantes, uma vez que é possível classificar o nível de atuação e delimitar a área de abrangência das relações que se estabelecem entre os diversos atores da cadeia de reciclagem de vidro.

Quadro 14 – Caracterização dos intermediários entrevistados, em relação ao número de fornecedores e compradores, por tipo de vidro e localização.

Intermediário	Tipos de vidro	Fornecedores		Compradores	
		Nº	Localização	Nº	Localização
Sucateiro, Morro da Fumaça.	VM+E	10	Sul de SC e Torres (RS)	1	SP
Sucateiro, Içara.	VM+E	220	Criciúma e região (SC)	200	SP
Beneficiador, Cocal do Sul.	E+VP+VT	-	Cocal do Sul, Urussanga, Orleans (SC)	1	Morro Grande (SC)
Beneficiador, Içara	VP+VT	100	SP, PR, SC, e RS	12	Sul de SC
Beneficiador, RS	VP+VT	-	SC e RS	1	RS
VM	Vidro misto				
E	Embalagem unitária				
VP	Vidro plano				
VT	Vidro técnico				

Fonte: Elaborado pela autora a partir das entrevistas.

O número de fornecedores e compradores repassados pelo sucateiro de Içara expressa, particularmente, uma rede bastante ampla de compra e venda para o vidro. No entanto, nesse universo, constatou-se que há somente dois compradores para as cargas de vidro misto. Acredita-se que as demais relações sejam estabelecidas no âmbito da rota de reutilização das embalagens unitárias, sobretudo, de garrafas de bebidas. Comparando o sucateiro de Morro da Fumaça e o Beneficiador de Içara, para os quais também se têm dados, a rede estabelecida é condizente com a capacidade produtiva das empresas investigadas.

No que diz respeito às exigências para efetivação da venda junto aos recicladores, os beneficiadores pontuaram a granulometria. Os sucateiros se referiram, sobretudo, à ausência de impurezas específicas na comercialização de vidro misto – louça de cerâmica, pedras e lâmpadas. Para a revenda de embalagens unitárias, as mesmas devem estar isentas de lascas ou defeitos e consideravelmente limpas.

Dos cinco entrevistados, dois possuem formalização de compra e venda por meio de contrato junto ao reciclador. São eles: o sucateiro de Içara, que comercializa com uma vidraria situada em São Paulo; e o beneficiador do RS, cujo único cliente para o pó de vidro é uma vidraria situada no RS. Ambas as fabricantes de embalagens que recebem o vidro de embalagem e plano descartado na AMREC pertencem ao mesmo grupo multinacional. Para os demais, a comercialização se dá de acordo com a demanda por parte do reciclador e da disponibilidade por parte do intermediário.

Os intermediários também foram questionados sobre as principais dificuldades enfrentadas no mercado da reciclagem de vidro. O sucateiro de Morro da Fumaça e os beneficiadores locais apontaram o risco de acidente com o manuseio e a necessidade de uso de EPI's. Além disso, o agente sediado em Cocal do Sul se referiu à baixa quantidade de vidro disponível para compra, inviabilizando a sua atuação nesse mercado num futuro próximo.

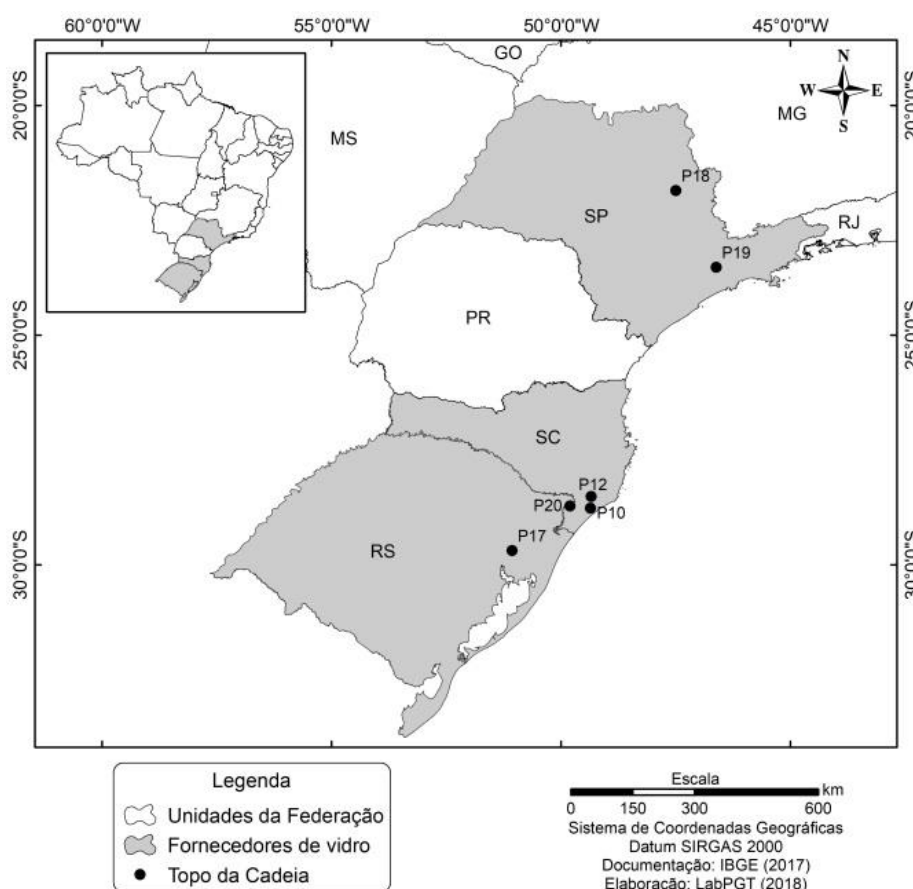
Tanto ele quanto o beneficiador de Içara operam com valores aquém de sua capacidade produtiva.

O sucateiro de Içara mencionou que diferentemente dos demais recicláveis, o vidro possui um preço irrisório, inalterado há 40 anos. Muitos atores em potencial dessa cadeia deixam de trabalhar com o vidro pela baixa rentabilidade. A falta de incentivo por parte do poder público e a carga tributária foram apontados por ambos os sucateiros entrevistados.

5.4 SITUAÇÃO DO TOPO DA CADEIA DE RECICLAGEM DE VIDRO

Foram mapeados seis recicladores, distribuídos por ordem de concentração, em Santa Catarina, São Paulo e Rio Grande do Sul (Figura 72). Portanto, estes são os Estados que absorvem o vidro pós-consumo no âmbito da AMREC, tanto o vidro misto quanto o vidro plano, cuja destinação é a reciclagem propriamente dita.

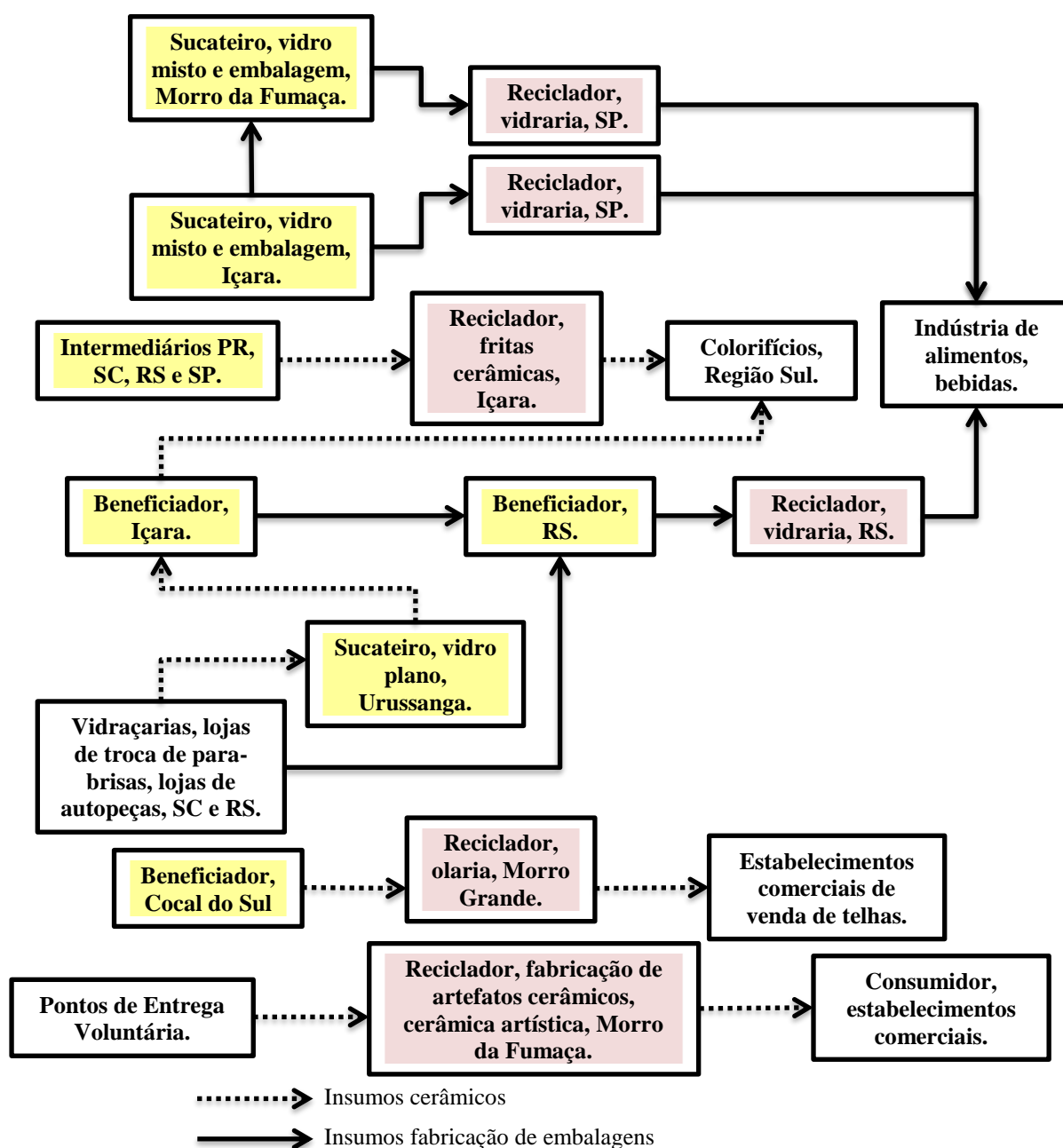
Figura 72 – Distribuição dos integrantes situados no topo da cadeia de reciclagem de vidro pós-consumo mapeados – abrangência: SC, RS e SP.



Fonte: (LABPGT, 2018).

Os recicladores situados mais próximos da fonte geradora estão em Morro da Fumaça, Içara e Morro Grande, atuantes no segmento cerâmico. Os demais polos são representados pelas vidrarias que empregam o vidro misto na fabricação de embalagens, utilizadas pelas indústrias de bebidas e de alimentos. A Figura 73 ilustra os fluxos estabelecidos entre os fornecedores e compradores com ênfase nos recicladores.

Figura 73 – Fluxograma da cadeia de reciclagem de vidro: relações estabelecidas entre os intermediários e os recicladores – abrangência: SC, RS, PR e SP.



Fonte: Elaborado pela autora a partir das entrevistas.

Desse universo, foi possível entrevistar somente um representante (Reciclador, Içara), que se insere na cadeia indiretamente, já que os seus fornecedores não se localizam na Região Carbonífera. De todo modo, os seus compradores representados pelos coloríficos de pequeno e médio porte situam-se na área de abrangência da AMREC.

De acordo com o proprietário, a empresa está no mercado de reciclagem de vidro há mais de 20 anos, sediada no município de Içara, SC. As associações, cooperativas de catadores e sucateiros locais não estão no seu rol de fornecedores, uma vez que a empresa trabalha predominantemente com vidros planos e especiais, incluindo lâmpadas descontaminadas e ampolas. Logo, são compradas cargas em quantidades consideráveis, provenientes de outros estados, como PR e RS. O único fornecedor de SC situa-se na cidade de Araranguá. O percentual de incorporação de vidro nas fritas cerâmicas comercializadas com os coloríficos varia entre 10 e 22%.

Em termos de infraestrutura, a empresa possui uma área fabril de 2.035 m² e equipamentos para fabricação de fritas cerâmicas: dosador, moinho e forno de fusão. Não há necessidade de segregação dos vidros, que são já comprados separadamente, na forma de cacos quebrados grosseiramente e armazenados na sua maioria em área aberta.

O processo produtivo não gera rejeitos, segundo o entrevistado, e caracteriza-se, basicamente, pelas etapas de: moagem do vidro, formulação, dosagem de matérias-primas, homogeneização e fusão (Figura 74). Ou seja, constitui-se pela usina de composição descrita anteriormente (Figura 71) acrescida da etapa de fusão.

Figura 74 – Processo produtivo da empresa caracterizada como recicladora, que emprega resíduos vítreos na fabricação de fritas cerâmicas, Içara, SC.



Fonte: (SOUZA-DAL BÓ, 2017).

O vidro comprado pelo reciclador está praticamente isento de impurezas: admite-se um percentual de no máximo 2% de contaminantes. A responsabilidade pela coleta junto ao fornecedor cabe ao entrevistado e os coloríficos arcam com os custos pela entrega do produto. Atualmente, a empresa possui em torno de cinco fornecedores distribuídos nos estados de SP, PR, SC e RS. Quanto aos compradores, também são cinco, localizados nos municípios de Cocal do Sul, Criciúma e Içara (SC).

As relações de compra e venda se dão por demanda e disponibilidade. Aliás, no tocante às dificuldades enfrentadas pelo reciclador de vidro no mercado atual, o entrevistado afirmou que em termos de estrutura, compradores e fornecedores, as relações já estão estabelecidas e consolidadas.

No entanto, os entraves estão atrelados à falta de incentivo por parte do poder público e de reconhecimento do empreendedor que se insere no ramo da reciclagem. Segundo ele, os impostos praticados sobre a empresa que se vale de insumos secundários são tão onerosos quanto àquela que usa essencialmente matéria-prima virgem.

Mensalmente são compradas 150 t de resíduos vítreos pelo reciclador. O valor pago pela tonelada varia entre R\$ 170 e R\$ 800, dependendo do tipo. A Tabela 22 mostra os valores praticados na compra dos insumos secundários. A capacidade produtiva da empresa está estimada em 2.500 t/mês, admitindo um valor de venda das fritas cerâmicas entre R\$ 1.050/t e R\$ 1.600/t. Logo, tem-se como valores médios de compra e venda, por tonelada, respectivamente, de R\$ 357,50 e R\$ 1.325 reais.

Tabela 22 – Preços de compra do vidro praticados pelo reciclador, integrante da cadeia de reciclagem de vidro no âmbito da AMREC.

Tipo de vidro	R\$/t
Plano	170,00
Lâmpada	210,00
Tubo de TV	250,00
Ampola	800,00
Média	357,50

Fonte: Elaborado pela autora a partir das entrevistas.

Quanto às vidrarias mapeadas como alternativa de destino final da cadeia de reciclagem de vidro, embasado em Akerman (2014), é possível ter uma ideia da capacidade produtiva das empresas que compram o vidro dos sucateiros ou beneficiadores locais. Em conjunto, as três empresas fabricantes de embalagens caracterizam-se pela produção diária de 1.000 t, chegando a 12 mil t/mês ou 144 mil t/ano (Tabela 23).

Tabela 23 – Tipo de produto e capacidade produtiva das vidrarias mapeadas.

Localização das vidrarias	Produto	Capacidade produtiva (t/dia)
SP	Embalagem	300
SP	Embalagem	400
RS	Embalagem	300
Total	-	1.000

Fonte: Elaborado pela autora embasado em (AKERMAN, 2014).

Lemos (2012) se refere à capacidade produtiva por número de peças fabricadas. A autora mapeou a mesma vidraria identificada na cadeia de vidro contemplada pela região da AMREC, localizada no RS. A empresa admite no seu processo, vidros dos tipos plano, misto, espelho e temperado. São compradas mensalmente 11 mil t/ano de matéria-prima secundária a um valor médio de R\$ 150/t.

Uma das vidrarias de São Paulo, que possivelmente é uma das rotas de destinação do vidro descartado na AMREC, recebe somente os vidros misto e plano. Para esta, estima-se a aquisição de 415 t/mês de insumos secundários e uma capacidade produtiva bastante expressiva: 1 bilhão de peças/ano (LEMOS, 2012).

Quanto à incorporação de caco pelas empresas fabricantes de embalagens, de acordo com o sucateiro de Morro da Fumaça, fornecedor de vidro misto para uma das vidrarias de São Paulo, as embalagens são fabricadas a partir de 40% de matéria-prima virgem e 60% de vidro pós-consumo.

As informações de Gibim (2014) vão ao encontro do que foi dito pelo entrevistado. De acordo com este autor, atualmente, emprega-se 80% de caco no processo produtivo de embalagens de vidro, um percentual que possivelmente implica na redução de custos produtivos com matérias-primas e energia e evita a exploração de recursos minerais não renováveis.

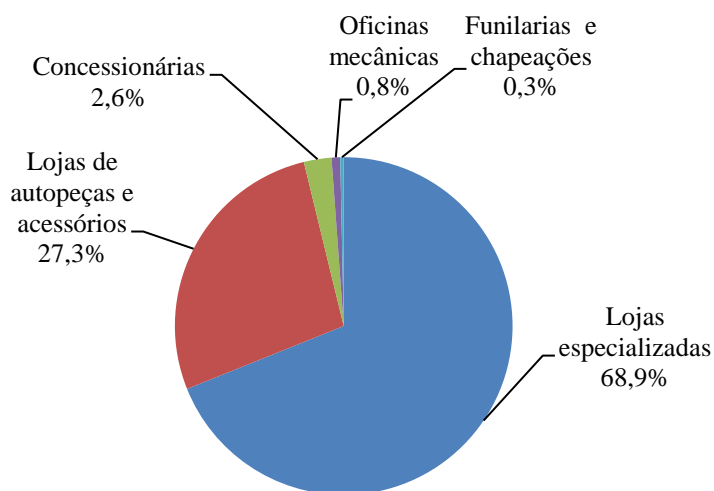
6 REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUO DE VIDRO LAMINADO AUTOMOTIVO NA FABRICAÇÃO DE FRITAS E ESMALTES CERÂMICOS

6.1 DIAGNÓSTICO DA GERAÇÃO E DESTINAÇÃO DO RESÍDUO DE VIDRO LAMINADO AUTOMOTIVO EM CRICIÚMA E REGIÃO (SC)

No ano de 2015 foram compilados, por meio de pesquisa *online*, 47 estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços nas cidades de Araranguá, Criciúma, Içara e Tubarão, entre funilarias, chapeações, oficinas mecânicas, concessionárias, lojas de autopeças e estabelecimentos especializados em vidros automotivos.

Chegou-se a um montante de 1.210 unidades de para-brisas descartadas mensalmente, atribuindo como principais geradores, lojas especializadas em vidros automotivos, responsáveis por cerca de 69% do descarte total, conforme ilustra a Figura 75.

Figura 75 – Participação das fontes geradoras de resíduos de vidro laminado automotivo, nas cidades de Araranguá, Criciúma, Içara e Tubarão em 2015.



Fonte: Elaboração própria.

Os demais estabelecimentos contatados, sobretudo, oficinas mecânicas e chapeações/funilarias, as quais juntas totalizaram somente 1,1% da geração total, informaram, na sua maioria, que não prestam este serviço. As concessionárias também geram uma quantidade pouco expressiva (2,6%), pois quando ofertam o serviço de troca, acabam por terceirizá-lo junto aos estabelecimentos especializados em vidros automotivos.

Na cidade de Criciúma, particularmente, chegou-se a um total de 712 unidades/mês de para-brisas descartados em 2015. A partir desse dado, infere-se que são geradas 10,7 t/mês de resíduos de vidro laminado automotivo na unidade de estudo – uma unidade de para-brisas pesa, em média, 15 kg. Embasado em um dos estabelecimentos especializados, responsável pela geração de aproximadamente 56,2% (400 unidades/mês) do montante descartado na cidade de Criciúma, verificou-se que o seu descarte é encaminhado para vias de disposição final.

Logo, concluiu-se, a partir da coleta de dados de 2015, que inexistia alguma alternativa de destinação que contemplasse os resíduos de vidro laminado automotivo em Criciúma, segundo informação do principal gerador local.

Em 2017, após o delineamento da pesquisa no que diz respeito à abrangência da coleta de dados, definiu-se como região de pesquisa, os municípios integrantes da AMREC. De todo modo, por meio das visitas *in loco* nos respectivos municípios e do contato junto aos órgãos públicos de manejo de resíduos, constatou-se que os geradores mais expressivos se localizam na cidade pólo da Região Carbonífera.

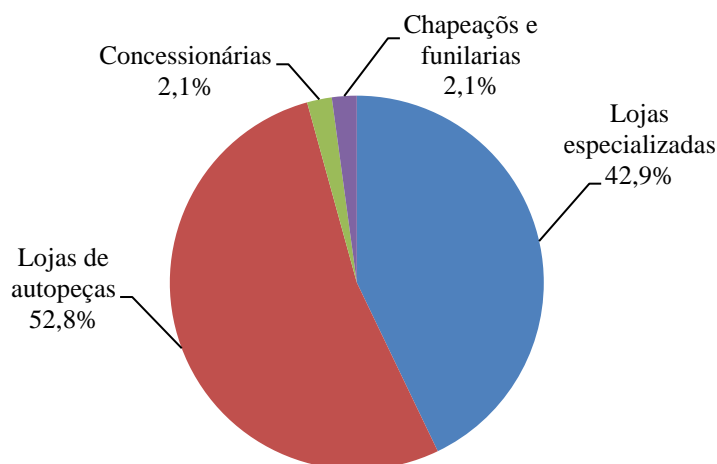
De acordo com os técnicos contatados, verificou-se que os moradores das cidades vizinhas acabam por se deslocar para Criciúma para realizar o serviço de reparo automotivo em questão, justamente por alocar estabelecimentos especializados. Quando questionados sobre a existência de fontes geradores de resíduos de vidro de para-brisas, os 12 entrevistados foram unânimes em afirmar que as desconhecem e se reportaram à Criciúma como principal local de troca e, possivelmente, de descarte mais significativo.

A partir da compilação das listagens fornecidas pelas prefeituras municipais em paralelo com a busca eletrônica, chegou-se a um universo de 50 estabelecimentos potencialmente geradores em Criciúma, dentre concessionárias, comércio de peças automotivas novas e usadas (ferros-velhos), chapeações/funilarias e lojas especializadas em vidros automotivos.

Portanto, estima-se um descarte de 930 unidades/mês de para-brisas em Criciúma, admitindo o ano de 2017 como referência. Sabendo que cada unidade equivale a 15 kg, tem-se uma geração média de 13,9 t/mês de resíduo de vidro laminado automotivo.

A Figura 76 ilustra a participação dos estabelecimentos no descarte de para-brisas danificados, admitindo o ano de 2017 como referência e a cidade de Criciúma como *locus* de geração. As lojas de autopeças prestadoras do serviço de troca de para-brisas e os estabelecimentos especializados em vidros automotivos respondem por 95,7% do total de unidades descartadas em Criciúma.

Figura 76 – Participação das fontes geradoras de resíduos de vidro laminado automotivo, na cidade de Criciúma em 2017.



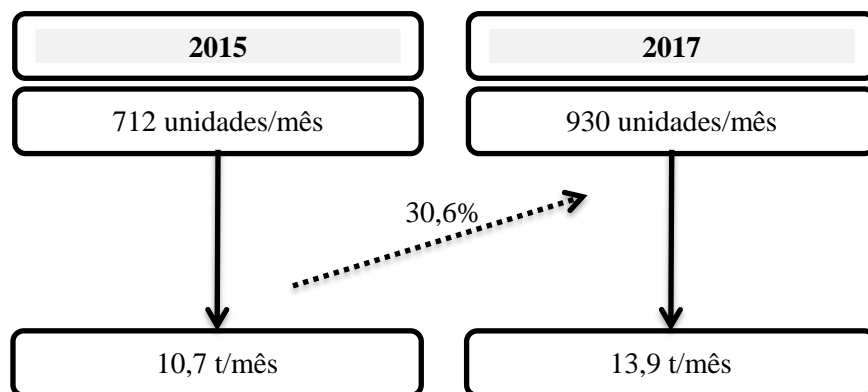
Fonte: Elaboração própria.

Verificou-se que a maioria das concessionárias e chapeaçõs/funilarias contatadas optam pela terceirização do serviço de troca de para-brisas junto às lojas de autopeças e, sobretudo, por meio dos estabelecimentos especializados em vidros automotivos. Quanto aos ferros-velhos (comércio de autopeças usadas), alegou-se que por conta das especificidades de cada modelo de veículo e das exigências em termos de qualidade atreladas ao vidro de para-brisas, trata-se de uma peça de baixa procura e, conseqüentemente, pouco comercializada por estes estabelecimentos.

As lojas de autopeças (novas) dividem-se entre estabelecimentos que prestam o serviço de troca de para-brisas e àqueles que não o fazem. Verificou-se que a maioria deles não disponibiliza este serviço e, quando contatados, sugeriram como fonte de dados, as lojas especializadas em vidros automotivos da cidade.

Logo, os maiores geradores deste resíduo em Criciúma são os estabelecimentos de autopeças (novas) que fazem a substituição de vidro de para-brisas, em conjunto com as lojas especializadas em vidros automotivos. Em suma, observou-se um incremento de 30,6% em 2017, no descarte de unidades de para-brisas em Criciúma, em relação ao ano de 2015, conforme ilustra a Figura 77.

Figura 77 – Quantidade estimada descartada de vidro de para-brisas em Criciúma, 2015-2017.



Fonte: Elaboração própria.

No entanto, diferentemente do que foi constatado em 2015, verificou-se que o vidro de para-brisas atualmente descartado na região é coletado por uma empresa de beneficiamento do Rio Grande do Sul, que o destina para uma fabricante multinacional de embalagens de vidro (vidraria), também sediada no mesmo estado. Trata-se da mesma rota descrita por Marchiori (2017) em seu trabalho.

6.2 FABRICAÇÃO DE FRITAS E ESMALTES CERÂMICOS A PARTIR DE RESÍDUO DE VIDRO LAMINADO AUTOMOTIVO

6.2.1 Considerações iniciais

Para o reaproveitamento de resíduos de vidro laminado automotivo em fritas e esmaltes cerâmicos foi desenvolvido um planejamento estatístico visando otimizar as propriedades físico-químicas, obtendo dessa forma fritas cerâmicas com desempenhos similares aos das fritas-padrão encontradas no mercado, usando o maior percentual possível de resíduo de vidro laminado.

Para tanto, foi usado o software STATISTICA 7.0, partindo-se de intervalos factíveis de composições químicas, embasados em Melchiades (2011) (Tabela 24) e na composição química de diferentes fabricantes de vidro de para-brisas comercializados na região (Tabela 25).

Tabela 24 – Composição química das fritas cerâmicas comerciais, expressa em % em peso.

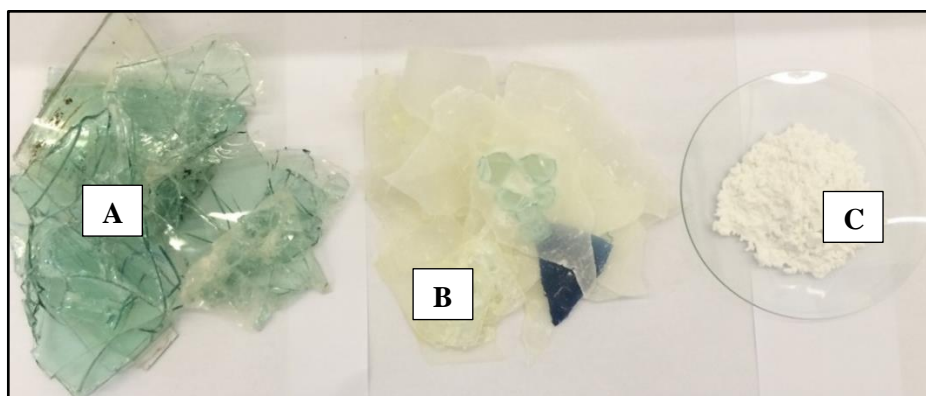
Óxidos (%)	FI32	FI18	FI33	FI41	FI42	FI02	L1	L2
SiO ₂	57,7	60,6	61,1	64,8	63,2	63,0	60,0	58,1
B ₂ O ₃	3,2	3,9	2,6	2,6	3,8	5,3	5,0	5,2
Al ₂ O ₃	7,4	9,4	6,9	9,0	7,3	9,2	7,0	5,7
CaO	13,1	14,5	15,3	15,3	16,3	13,3	10,0	12,8
MgO	1,2	0,8	1,4	1,1	2,5	-	2,0	1,3
ZnO	8,9	4,2	7,7	1,9	-	1,1	10,0	12,7
BaO	0,1	-	-	-	2,9	-	-	-
Na ₂ O	2,1	2,0	2,0	1,4	1,5	1,6	1,0	0,7
K ₂ O	5,4	3,7	3,2	3,9	2,0	5,4	4,0	5,3
Fe ₂ O ₃	0,1	0,3	0,2	0,1	0,2	0,1	-	-
TiO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-

As fritas cerâmicas identificadas por “L” referem-se à bibliografia espanhola; e àquelas que começam com “FI” representam composições de fritas comerciais brasileiras.

Fonte: (MELCHIADES, 2011, p. 73).

Relacionado às amostras de vidro laminado automotivo coletadas e à separação das camadas vítrea e polimérica, originalmente, conseguiu-se grandes fragmentos de vidro de para-brisas junto a um dos principais geradores locais desse resíduo. Após a trituração e a moagem dos cacos de vidro aderidos ao plástico, obteve-se dois materiais: pó de vidro e PBV com pequenos fragmentos de vidro ainda aderidos. A Figura 78 ilustra a caracterização do resíduo coletado após passar pelos procedimentos de separação.

Figura 78 – Etapas da separação do vidro laminado automotivo: (A) Vidro de para-brisas quebrado; (B) Polímero constituinte do vidro de para-brisas após a moagem; (C) Resíduo de pó de vidro de para-brisas após a separação do polímero.



Fonte: (SOUZA-DAL BÓ, 2017).

Tabela 25 – Composição química das amostras de resíduo de vidro laminado automotivo, expressa em % em peso.

Óxidos (%)	A	B	C	D	E	F
SiO ₂	69,2	70,5	70,7	69,2	69,8	69,4
Al ₂ O ₃	1,7	1,5	1,2	2,2	1,8	1,8
Fe ₂ O ₃	0,4	0,7	0,7	0,4	0,7	-
CaO	9,1	7,9	8,2	7,6	7,8	7,9
K ₂ O	0,2	0,2	-	0,4	0,2	0,2
MgO	3,8	3,8	3,4	4,3	3,9	3,7
Na ₂ O	13,3	12,7	13,8	13,5	12,3	12,8
P ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-
BaO	0,1	0,1	0,1	0,1	-	0,1
SrO	-	0,1	-	0,1	-	0,1
PF a 900°C	0,3	0,3	0,3	0,3	0,6	0,4

Fonte: Elaborado pela autora.

Constatou-se que as composições são bastante similares entre si, sobretudo, no que se refere aos seus constituintes predominantes: SiO₂, Na₂O e CaO, podendo desta forma ser caracterizada, tipicamente, como um vidro soda-cal.

A partir da análise dos dados descritos acima e do emprego do software de planejamento estatístico, foram geradas 40 composições/formulações de fritas cerâmicas contendo diferentes percentuais de óxidos de silício, boro, alumínio, potássio, cálcio e zinco, conforme mostra a Tabela 26.

Complementarmente, têm-se as faixas de variação utilizadas na composição das fritas experimentais tendo como base as variações em peso encontradas nos óxidos das fritas comerciais citadas por Melchiades (2011) (Tabela 27).

Tabela 26 – Composição química das 40 formulações de fritas cerâmicas (em % de óxidos), de acordo com o planejamento de misturas.

Óxidos (%)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	...	40
SiO ₂	65,0	55,0	65,0	55,0	55,0	55,0	55,0	65,0	55,0	55,0	...	57,0
B ₂ O ₃	0,0	6,0	0,0	6,0	0,0	6,0	6,0	0,0	6,0	0,0	...	6,0
Al ₂ O ₃	5,0	10,0	5,0	5,0	10,0	10,0	10,0	5,0	5,0	10,0	...	10,0
CaO	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	19,0	14,0	18,0	19,0	...	11,0
ZnO	10,0	9,0	4,0	8,0	9,0	3,0	10,0	10,0	10,0	10,0	...	10,0
K ₂ O	0,0	0,0	6,0	6,0	6,0	6,0	0,0	6,0	6,0	6,0	...	6,0

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 27 – Faixas de variação da composição (em % de óxidos) das fritas comerciais e das fritas experimentais, obtidas por planejamento de misturas.

Óxidos (%)	Fritas comerciais		Fritas experimentais	
	Níveis (%)		Níveis (%)	
	-1	+1	-1	+1
SiO ₂	57,7	64,8	55,0	65,0
B ₂ O ₃	2,6	5,3	0,0	6,0
Al ₂ O ₃	5,7	9,4	5,0	10,0
K ₂ O	2,0	5,4	0,0	6,0
CaO	10,0	16,3	10,0	20,0
ZnO	0,0	12,7	0,0	10,0

Fonte: Elaborado pela autora.

Para se transformar a composição em óxidos para a composição em peso das matérias-primas disponíveis foi desenvolvida uma planilha eletrônica no *Microsoft Excel* usando a ferramenta *Solver*. A Tabela 28 apresenta a formulação química (% em peso de matérias-primas), admitindo a incorporação de 7,7% de resíduo de vidro laminado automotivo.

Tabela 28 – Formulação das fritas experimentais em % em peso das matérias-primas.

Matérias-primas (%)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	...	40
Quartzo	57,7	40,7	50,2	40,6	31,9	31,7	40,9	49,9	40,4	31,6	...	33,2
Feldspato Na	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	...	0,0
Feldspato Na-K	0,0	0,0	16,0	15,0	20,0	20,0	0,0	16,5	15,4	20,0	...	20,0
Caulim	6,8	20,6	0,0	0,0	11,0	11,4	20,3	0,0	0,0	11,6	...	12,7
Calcita	34,5	34,9	34,3	34,5	34,5	34,5	32,7	23,6	31,1	33,0	...	18,6
Ácido bórico	0,0	11,3	0,0	10,9	0,0	10,9	11,2	0,0	11,2	0,0	...	11,2
Óxido de zinco	10,3	9,4	4,1	8,2	9,3	3,1	10,5	10,3	10,3	10,1	...	10,5
Nitrato potássio	0,0	0,0	9,2	9,5	8,1	8,0	0,0	9,0	9,8	8,0	...	8,0
Dolomita	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	...	0,0
Resíduo VLA*	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	...	7,7
Total (g)	116,9	124,5	121,4	126,4	122,4	127,2	123,3	116,9	125,7	122,0	...	121,8

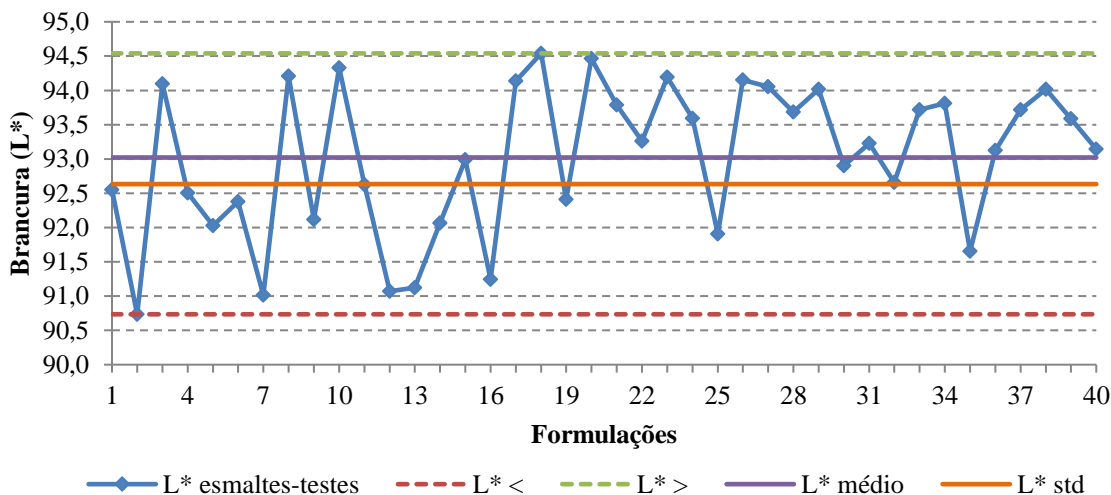
*VLA: vidro laminado automotivo. Fonte: Elaborado pela autora.

6.2.2 Caracterização colorimétrica

A Figura 79 e a Figura 80 mostram os resultados do ensaio de colorimetria, caracterizando os esmaltes-testes fabricados com resíduo de vidro laminado automotivo em relação ao grau de brancura e ao brilho da superfície das amostras, comparativamente ao valor característico do esmalte-padrão.

Quanto ao grau de brancura, verificou-se uma baixa dispersão dos dados ($90,7 < L^* < 94,5$) em relação à média encontrada, revelando, na sua maioria, superfícies mais opacas do que transparentes. Chegou-se a um valor médio, entre as 40 amostras-testes ($L^*_{\text{médio}} = 93,0$), praticamente equiparado ao grau de brancura do esmalte-padrão ($L^*_{\text{std}} = 92,6$).

Figura 79 – Grau de brancura (L^*) dos esmaltes-testes em relação ao esmalte-padrão.

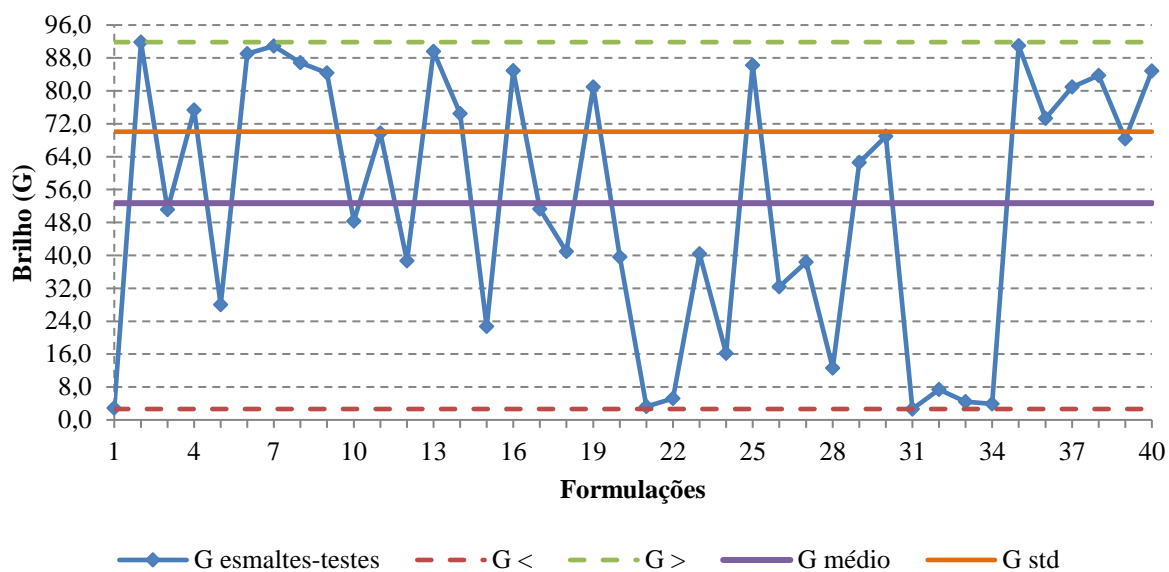


Fonte: Elaborado pela autora.

Logo, considerando os valores médios, os esmaltes-testes mostraram desempenho semelhante ao esmalte-padrão em relação ao grau de brancura. Valores de L^* mais elevados são indicativos de composições que sofrem perda de transparência, gerando um aspecto relativamente mais opaco (MELCHIADES, 2011).

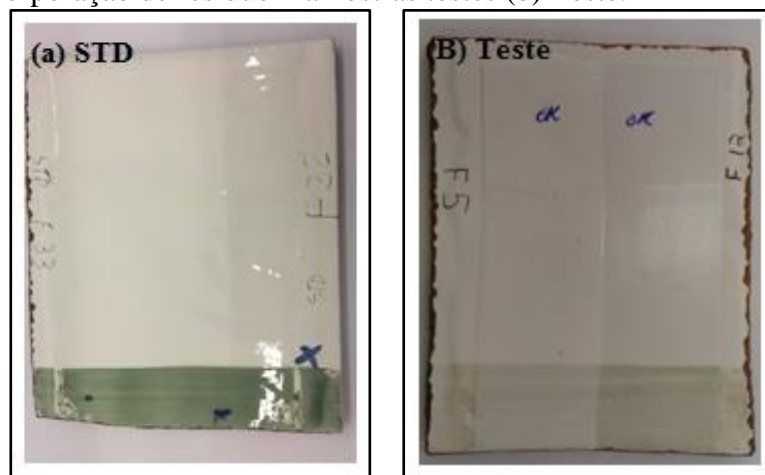
Quanto ao brilho das superfícies esmaltadas com fritas recicladas, observou-se uma variação significativa entre as amostras ($2,7 < G < 91,9$), retratada por um desvio padrão igual a 31,9. Obteve-se, de forma equiparada, a presença de esmaltes-testes com ausência de brilho (mate) e amostras brilhantes. Apesar do grande desvio nos resultados experimentais para a variável brilho, em 40% das amostras testes obteve-se resultados com mais brilho que as fritas comerciais ($G_{\text{std}} = 70,1$).

Figura 80 – Brilho (G) dos esmaltes-testes em relação ao esmalte-padrão.



Na Figura 81 podem ser observadas as características relativas à colorimetria, sobretudo, ao brilho das amostras padrão (a) (FI 32 std e FI 33 std), comparativamente às amostras testes (b) (F5 e F13). Em cada peça cerâmica foram aplicadas duas formulações.

Figura 81 – Peças cerâmicas esmaltadas sem incorporação de resíduo – amostras padrão (a) STD – e com incorporação de resíduo – amostras testes (b) Teste.



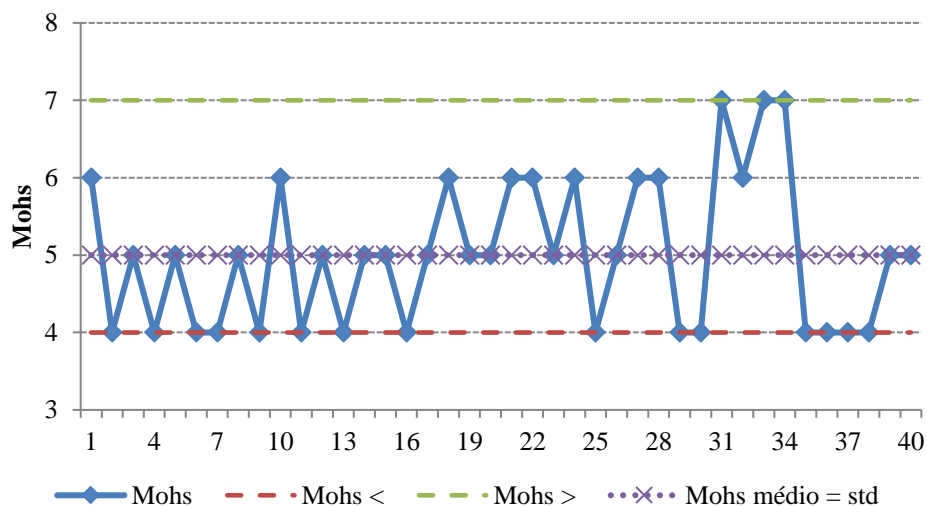
Fonte: (SOUZA-DAL BÓ, 2017).

6.2.3 Caracterização da dureza Mohs, Knoop e Vickers

A Figura 82 mostra os resultados do ensaio de resistência ao risco, por meio da escala de dureza Mohs. O valor médio para as 40 formulações foi o mesmo encontrado para os esmaltes-padrão ($Mohs_{\text{médio}} = Mohs_{\text{std}} = 5$).

A dureza Mohs variou entre 4,0 e 7,0; com um desvio padrão igual a 1,0. Constatou-se que 62,5% dos esmaltes-testes mostraram-se mais resistentes ou com o mesmo comportamento dos esmaltes-padrão.

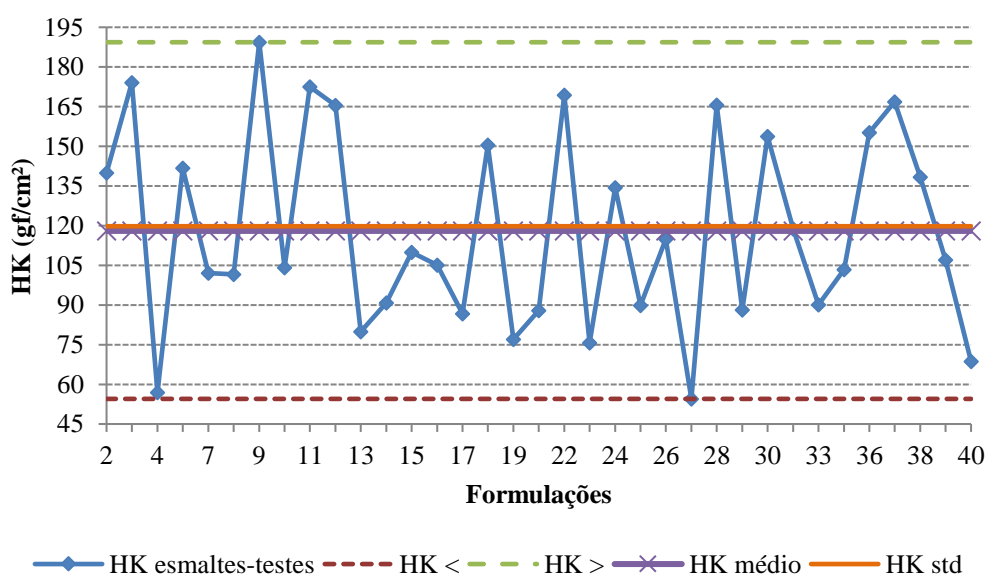
Figura 82 – Resistência ao risco (Mohs) dos esmaltes-testes em relação ao esmalte-padrão.



Fonte: Elaborado pela autora.

Quanto à microdureza Knoop (HK), constatou-se que a média encontrada para os esmaltes-testes ($HK_{\text{médio}} = 118,0$) é bastante próxima ao valor característico dos esmaltes-padrão ($HK_{\text{std}} = 119,8$), de acordo com a Figura 83.

Figura 83 – Microdureza Knoop (HK, gf/cm²) dos esmaltes-testes em relação à média dos esmaltes-padrão.

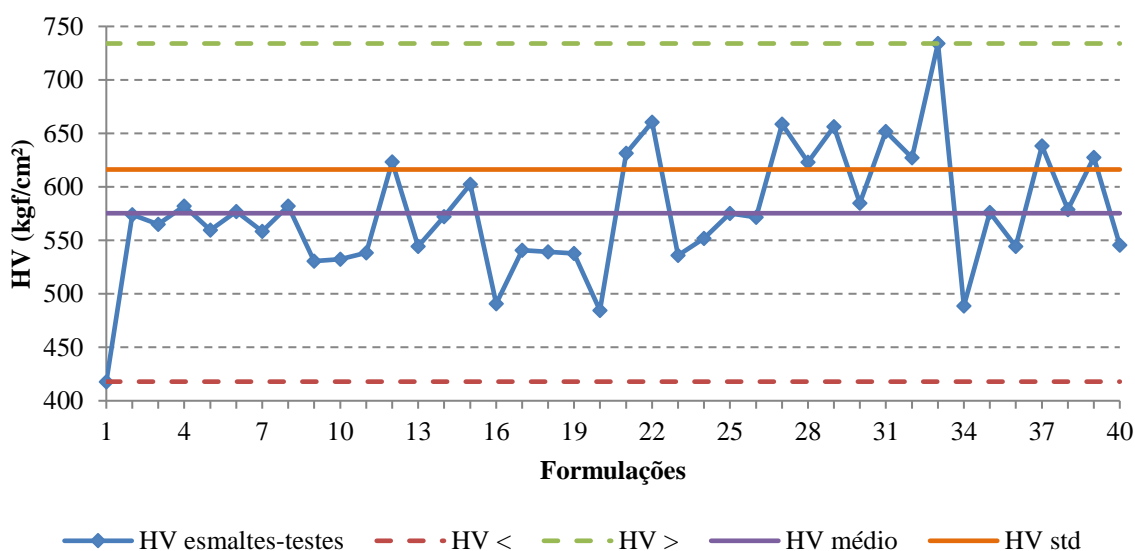


Fonte: Elaborado pela autora.

Percebeu-se ainda, uma variação significativa dos dados amostrais ($54,5 < HK < 189,3$) em relação à média, por meio de um desvio padrão igual a 37,5. De todo modo, 32,5% das amostras testes apresentou maior resistência à deformação, comparativamente, à média característica dos esmaltes-padrões.

Resguardadas as diferenças de aplicabilidade dos ensaios de microdureza Knoop e Vickers descritos na metodologia, a Figura 84 mostra os resultados obtidos por meio do método Vickers. O desempenho médio dos esmaltes-padrão ($HV_{std} = 616,2$) se mostrou 6,6% superior ao valor médio ($HV_{médio} = 575,3$) encontrado para as 40 formulações com incorporação de resíduo.

Figura 84 – Microdureza Vickers (HV, kgf/cm²) dos esmaltes-testes em relação à média dos esmaltes-padrão.



Fonte: Elaborado pela autora.

Verificou-se uma variação significativa entre os dados amostrais de $417,9 < HV < 734,0$. O desvio padrão obtido a partir do ensaio Vickers ($\sigma = 58,2$) foi superior ao encontrado por meio da dureza Knoop ($\sigma = 37,5$). Quanto às formulações com desempenho otimizado, constatou-se que 30,0% das amostras-testes (F12, F15, F21, F22, F27, F28, F29, F31, F32, F33, F37, F39) mostraram-se mais resistentes à deformação, comparativamente às amostras fabricadas a partir de matéria-prima virgem, para este ensaio.

6.2.4 Caracterização da resistência ao ataque químico

A Tabela 29 mostra a compilação dos resultados obtidos através do ensaio de resistência ao ataque químico. Em suma, verificou-se que 92,5% das amostras-testes obtiveram elevada resistência ao ataque químico (GA) quando submetidas à solução de NaClO. Quanto ao reagente ácido de baixa concentração (HCl), no entanto, a maioria das amostras (84,2%) apresentou resistência química moderada (GLB). A Figura 85 e a Figura 86 ilustram os resultados de acordo com os procedimentos sistemáticos detalhados na norma.

Tabela 29 – Compilação dos resultados relativos à resistência ao ataque químico dos esmaltes-testes, empregando NaClO e HCl como reagentes agressivos.

Reagente NaClO			Reagente HCl		
Classe	Quantitativo de amostras	%	Classe	Quantitativo de amostras	%
GA	37	92,5	GLA	2	10,5
GB	3	7,5	GLB	16	84,2
GC	0	0,0	GLC	1	5,3
Total	40	100,0	Total	19	100,0

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 85 – Resistência ao ataque químico das amostras-testes, empregando hipoclorito de sódio (NaClO).

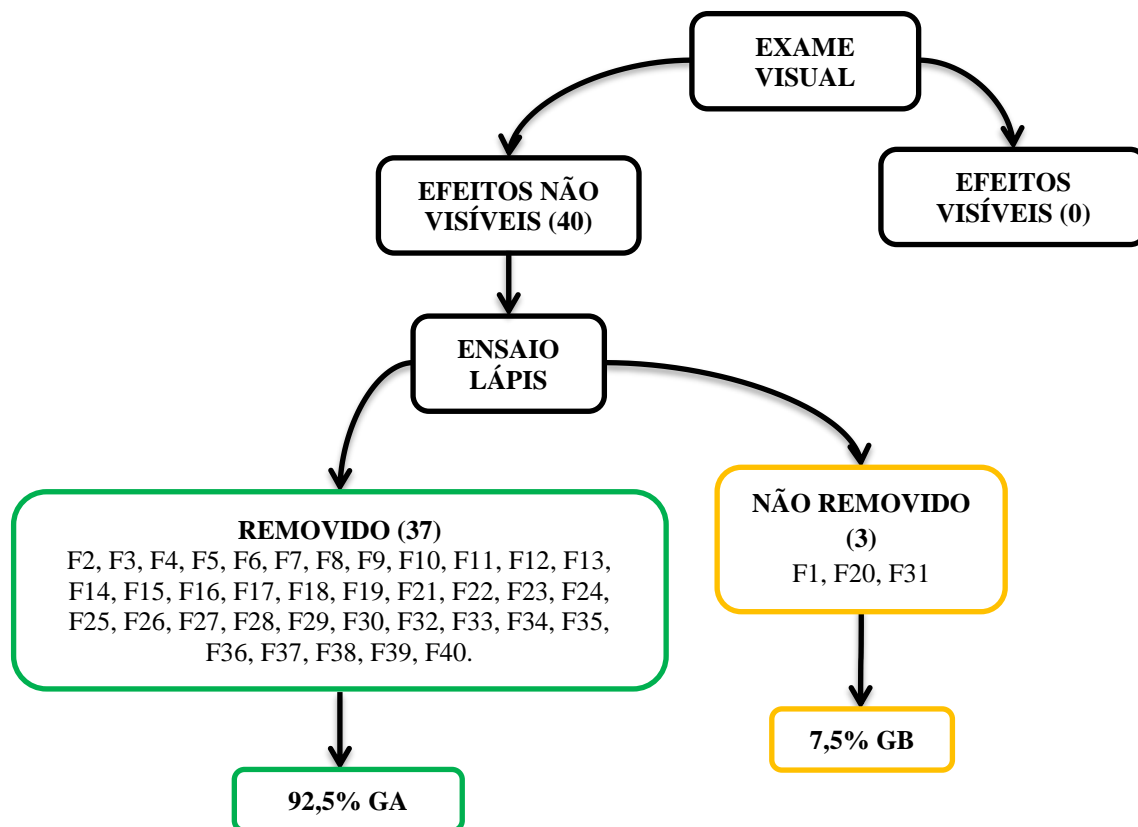
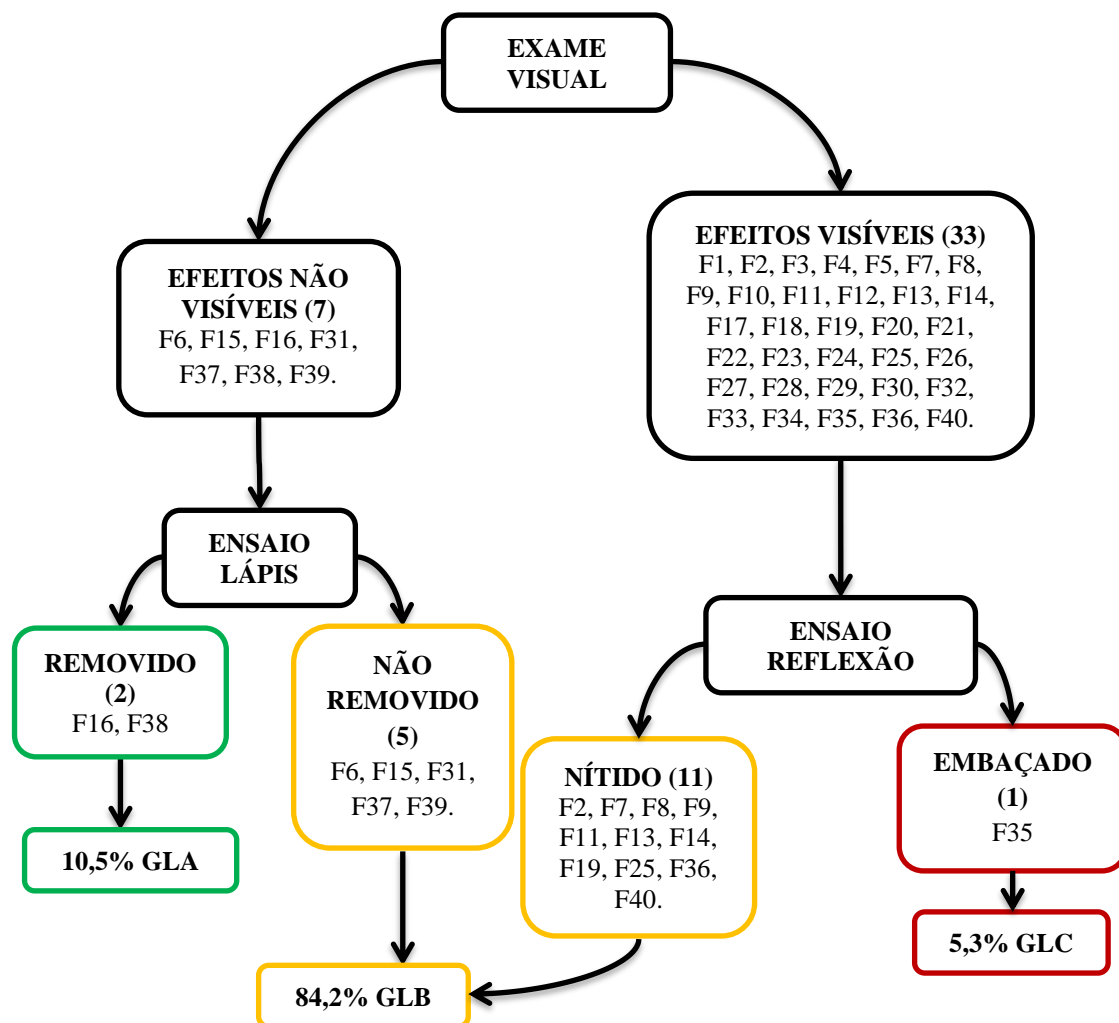


Figura 86 – Resistência ao ataque químico das amostras-testes, empregando ácido clorídrico (HCl).



Fonte: Elaborado pela autora.

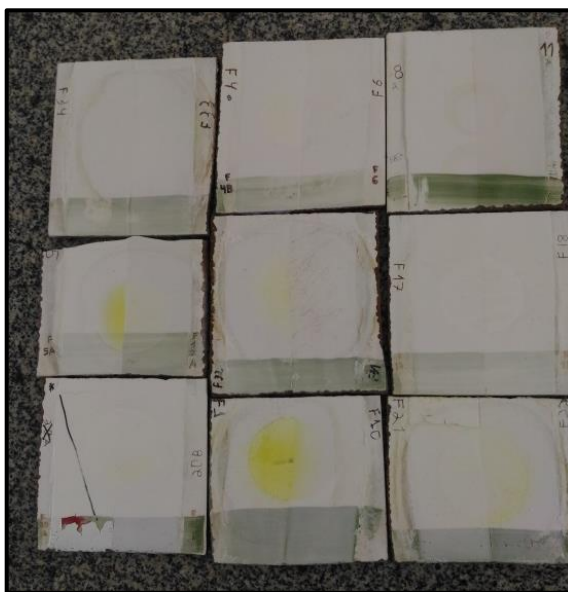
No que se refere ao ensaio empregando HCl, destaca-se que em 21 amostras não foi possível realizar o teste de reflexão, por possuírem superfície fosca. A classificação das amostras padrão pode ser vista no Quadro 15.

Quadro 15 – Classificação dos esmaltes-padrão em relação à resistência ao ataque químico, empregando NaClO e HCl como agentes agressivos.

Esmalte-padrão	Reagente agressivo	
	NaClO	HCl
FI 32	GA	GLB
FI 18	GA	GLB
FI 33	GA	GLB
FI 41	GA	GLB
FI 02	GA	GLB
L1	GA	GLA
L2	GA	GLA

Todas as amostras-padrão submetidas ao NaClO mostraram-se com alta resistência (GA) ao ataque químico. Em relação à solução de HCl, cinco delas apresentaram resistência química moderada (GLB). Algumas das amostras-testes que sofreram alterações visíveis, após 96 h de exposição ao reagente HCl, podem ser vistas na Figura 87. Percebeu-se mudança na cor e a presença de manchas de cor amarelada.

Figura 87 – Amostras-testes submetidas ao ensaio de resistência ao ataque químico por HCl, com alterações visíveis.



Fonte: Elaborado pela autora.

6.2.5 Síntese dos resultados: colorimetria, dureza e resistência ao ataque químico

A Tabela 30 mostra uma síntese comparativa dos resultados de colorimetria e dureza dos esmaltes-testes em relação à média das amostras-padrão. A Tabela 31, complementarmente, traz os resultados individualmente para cada amostra-padrão.

Tabela 30 – Síntese dos resultados dos esmaltes-testes em relação aos esmaltes-padrão (colorimetria e dureza).

Parâmetro	Símbolo	Unidade	Mínimo	Máximo	Média*	Std**	Desvio-padrão
Grau de brancura	L*	-	90,7	94,5	93,0	92,6	1,1
Brilho	G	-	2,7	91,9	52,7	70,1	31,9
Dureza Mohs	Mohs	-	4,0	7,0	5,0	5,0	1,0
Microdureza Knoop	HK	gf/cm ²	54,5	189,3	118,0	119,8	37,5
Microdureza Vickers	HV	kgf/cm ²	417,9	734,0	575,3	616,2	58,2

*Valores para os esmaltes-testes com incorporação de cerca de 8% de resíduo.

**Valores característicos dos esmaltes fabricados sem incorporação de resíduo.

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 31 – Síntese dos resultados dos esmaltes-padrões (colorimetria e dureza).

Esmalte-padrão	L*	G	Mohs	HV (kgf/cm ²)	HK (gf/cm ²)
FI 32	94,1	90,3	4	548,7	98,4
FI 18	93,2	73,2	5	602,4	90,4
FI 33	93,1	57,9	4	604,5	91,4
FI 41	93,1	74,5	5	635,0	137,7
FI 02	91,6	63,9	4	590,6	140,3
L1	91,4	61,1	5	671,7	180,7
L2	92,1	69,5	5	660,6	99,4
Média	92,6	70,1	5	616,2	119,8

Fonte: Elaborado pela autora.

Tendo em vista a totalidade de ensaios realizados e admitindo as amostras com comportamento otimizado como aquelas que se mostraram mais resistentes, em termos de dureza e de ataque químico por NaClO, chegou-se ao Quadro 16.

Quadro 16 – Comparativo dos esmaltes-testes com comportamento otimizado em relação à aos esmaltes-padrão.

Parâmetro	Símbolo	Unidade	Amostras-testes com desempenho \geq amostras-padrão _{média}	% de amostras com desempenho \geq amostras-padrão _{média}
Dureza Mohs	Mohs	-	F1, F3, F5, F8, F10, F12, F14, F15, F17, F18, F19, F20, F21, F22, F23, F24, F26, F27, F28, F31, F32, F33, F34, F39, F40.	62,5
Microdureza Knoop	HK	gf/cm ²	F2, F3, F6, F9, F11, F12, F18, F22, F24, F28, F30, F36, F37.	32,5
Microdureza Vickers	HV	kgf/cm ²	F12, F15, F21, F22, F27, F28, F29, F31, F32, F33, F37, F39.	30,0
Resistência ao ataque químico (NaClO)	GA	-	F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8, F9, F10, F11, F12, F13, F14, F15, F16, F17, F18, F19, F21, F22, F23, F24, F25, F26, F27, F28, F29, F30, F32, F33, F34, F35, F36, F37, F38, F39, F40.	92,5
Resistência ao ataque químico (HCl)	GLA e GLB	-	F2, F6, F7, F8, F9, F11, F13, F14, F15, F16, F19, F25, F31, F36, F37, F38, F39, F40.	94,7

Fonte: Elaborado pela autora.

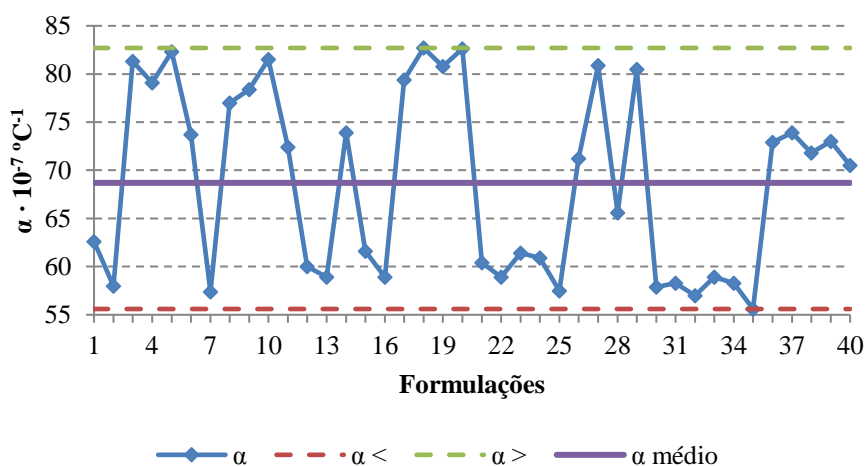
Destacam-se três formulações cujo desempenho mostrou-se igual ao superior à média dos esmaltes-padrão: F12, F22 e F28. Portanto, para estas formulações e considerando os ensaios de dureza e resistência ao ataque químico por NaClO, fabricadas com cerca de 8% de vidro laminado automotivo, verificou-se resultados condizentes ou melhores do que os produtos usualmente comercializados no mercado.

6.2.6 Caracterização térmica

A expansão térmica em materiais vítreos é uma característica extremamente importante, que está relacionada à resistência ao choque térmico e ao acoplamento entre o suporte e o vidrado cerâmico. É preciso conhecê-la, pois diferenças de expansão entre o esmalte e o suporte implicam em deficiências no acoplamento destes materiais e podem provocar defeitos estruturais como curvaturas acentuadas e empeno (NAVARRO, 2003; MELCHIADES, 2011).

Os valores encontrados para o coeficiente de expansão térmica linear teórico dos esmaltes–testes encontram-se na Figura 88. Verificou-se uma variação entre $55,6 \cdot 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ e $82,7 \cdot 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, com valor médio de $68,7 \cdot 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

Figura 88 – Coeficiente de expansão térmica linear teórico dos esmaltes-testes.



Fonte: Elaborado pela autora.

Quanto aos esmaltes-padrão, a Tabela 33 mostra uma variação entre $59,6 \cdot 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ e $75,3 \cdot 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ para o coeficiente de expansão térmica linear teórico, com valor médio de $65,4 \cdot 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. Ou seja, valores aproximados aos característicos das amostras-testes.

Tabela 32 – Coeficiente de expansão térmica linear teórico dos esmaltes-padrão.

Esmalte-padrão	α (10 ⁻⁷ °C ⁻¹)
FI 32	75,3
FI 18	67,4
FI 33	70,3
FI 41	63,6
FI 02	59,6
L1	60,5
L2	61,5
Média	65,4

No que se refere à comparação entre o coeficiente teórico e o obtido experimentalmente (α_{25-325}) através do dilatômetro, as amostras selecionadas para o ensaio de dilatométrica apresentaram resultados inferiores aos calculados, como pode ser observado na Tabela 33.

Tabela 33 – Comparativo entre o coeficiente de expansão térmica linear teórico e experimental.

Formulações	% de resíduo	Teórico, segundo <i>Appen</i> α ($10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$)	Experimental α ($10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$)	Erro (%)
F11	~8%	71,9	64,7	-10,0
F36	~8%	72,1	59,8	-17,0
F38	~8%	70,8	61,4	-13,3
FI 32 std	0%	75,3	62,8	-16,6

Fonte: Elaborado pela autora.

Os modelos teóricos para cálculos de coeficiente de expansão térmica são susceptíveis a erros de acordo com a taxa de aquecimento usada experimentalmente, o que pode ter influenciado o desvio encontrado entre os valores teóricos e experimentais. Porém, os cálculos teóricos são importantes em nível de comparação, minimizando consideravelmente os ensaios laboratoriais e, conseqüentemente reduzindo custos oriundos da quantidade excessiva de ensaios.

Quanto ao ciclo térmico, a Tabela 34 mostra os resultados das temperaturas de transição vítrea (T_g), sinterização, amolecimento e fusão. Verificou-se que embora representem amostras com composições químicas diferentes, inclusive em relação à incorporação de resíduo, os resultados mostraram-se bastante semelhantes entre si e à amostra-padrão selecionada.

Tabela 34 – Caracterização térmica das formulações com incorporação de resíduo de vidro laminado automotivo em relação à amostra-padrão.

Formulações	% resíduo	Transição vítrea	Temperatura ($^\circ\text{C}$)		
			Sinterização	Amolecimento	Fusão
F11	~8%	636	850	860	1.190
F36	~8%	607	895	905	1.225
F38	~8%	633	875	885	1.255
FI 32 std	0%	646	875	885	1.205

Fonte: Elaborado pela autora.

Individualmente, verificou-se que a amostra-padrão apresentou temperatura de transição vítrea levemente superior aos esmaltes-testes. Por outro lado, os resultados

mostraram similaridade entre as temperaturas de sinterização, amolecimento e fusão das formulações testes quando comparadas com a amostra padrão. A caracterização térmica das temperaturas de transição vítrea, sinterização, amolecimento e fusão são fundamentais tanto para a produção da frita cerâmica, pois irão reger a viscosidade da frita fundida e também tem influência durante o processo produtivo de placas cerâmicas, podendo interferir na curvatura e empeno das placas esmaltadas.

6.2.7 Análise comparativa entre amostras com diferentes percentuais de resíduo de vidro laminado

Os resultados a seguir descrevem o comportamento dos esmaltes-testes com diferentes quantidades de resíduo de vidro laminado automotivo (~8 e 15%), selecionadas visualmente, admitindo como referência comparativa, a média dos esmaltes-padrão.

Quanto às propriedades colorimétricas (Tabela 35), verificou-se que a partir do aumento da quantidade de resíduo empregada, elevaram-se também, o grau de brancura e o brilho da superfície das amostras. No tocante ao grau de brancura, especificamente, as amostras com 15% de resíduo mostraram comportamento mais próximo ao esmalte-padrão.

Tabela 35 – Comparativo entre propriedades colorimétricas de esmaltes-testes com diferentes percentuais de incorporação de resíduo de vidro laminado automotivo.

Esmaltes-testes	Grau de Brancura (L*)		Brilho (G)	
	% de resíduo		% de resíduo	
	8%	15%	8%	15%
F11	69,8	92,7	69,8	83,2
F36	73,3	93,4	73,3	82,7
F38	83,7	92,8	83,7	85,1
Esmalte-padrão	92,6		70,1	

Fonte: Elaborado pela autora.

A Tabela 36 mostra os resultados obtidos a partir dos ensaios de dureza (Mohs, Knoop e Vickers). Para os esmaltes-testes F36 e F38 não houve variação na resistência ao risco a partir do incremento de resíduo. O esmalte-teste F11, particularmente, com 15% de resíduo, apresentou a mesma resistência ao risco do esmalte-padrão.

Quanto à microdureza Knoop, todos os esmaltes-testes tiveram a sua resistência à deformação reduzidas, admitindo uma quantidade maior de resíduo em sua composição. No tocante ao ensaio Vickers, o mesmo desempenho não foi reproduzido, já que a formulação F36 teve a sua resistência levemente incrementada, admitindo o emprego de 15% de resíduo.

Tabela 36 – Comparativo entre propriedades mecânicas de formulações com diferentes percentuais de incorporação de resíduo de vidro laminado automotivo.

Esmaltes-testes	Dureza Mohs (Mohs)		Dureza Knoop (HK)		Dureza Vickers (HV)	
	8%	15%	8%	15%	8%	15%
F11	4,0	5,0	172,5	101,5	538,4	522,5
F36	4,0	4,0	155,2	81,7	544,4	554,9
F38	4,0	4,0	138,4	108,2	578,9	517,7
Esmalte-padrão	5,0		119,8		616,2	

Fonte: Elaborado pela autora.

Os esmaltes-testes com 8% de resíduo apresentaram dureza mais elevada do que o esmalte-padrão no método Knoop. Diferentemente, para o ensaio Vickers, o valor da dureza do esmalte-padrão é consideravelmente superior aos esmaltes-testes, independente dos percentuais de resíduo utilizados.

No que diz respeito à resistência ao ataque químico (Quadro 17), todos os esmaltes, incluindo as amostras-padrão, apresentaram alta resistência para o reagente NaClO. O ensaio empregando o reagente HCl, revelou que as amostras F11A e F36A, com maior percentual de resíduo, mostraram-se mais resistentes ao ataque químico. O esmalte F38, particularmente, apresentou resistência elevada, indiferentemente da quantidade de resíduo incorporada. No geral, os resultados mostraram que a adição de resíduo de vidro não afetou significativamente a resistência ao ataque químico dos esmaltes.

Quadro 17 – Comparativo da resistência ao ataque químico de esmaltes-testes com diferentes percentuais de incorporação de resíduo entre si e com os esmaltes-padrão.

Esmaltes-testes	Reagentes	Classificação	
		8%	15%
F11	NaClO	GA	GA
	HCl	GLB	GLA
F36	NaClO	GA	GA
	HCl	GLB	GLA
F38	NaClO	GA	GA
	HCl	GLA	GLA
Esmalte-padrão	NaClO	GA* e **	
	HCl	GLB* e GLA**	

*FI 32, FI 18, FI 33, FI 41, FI 02; ** L1, L2. Fonte: Elaborado pela autora.

Além dos resultados de colorimetria, dureza e resistência química, é importante estudar o comportamento térmico dos vidros. Propriedades térmicas como a viscosidade, coeficiente de expansão térmica, temperatura de transição vítrea, entre outras são fundamentais desde a eficiência na produtividade da frita no colorífico até a qualidade do revestimento cerâmico a ser fabricado.

Quanto às propriedades térmicas observaram-se erros aproximados de 15% no coeficiente de expansão térmica linear teórico e experimental (Tabela 37) para diferentes percentuais de resíduo. Por outro lado, as temperaturas de transição vítrea, sinterização, amolecimento e fusão se mostraram muito próximas à fritas comerciais, sem incorporação de resíduo (Tabela 38).

Tabela 37 – Comparativo entre o coeficiente de expansão térmica linear teórico e experimental de amostras com diferentes percentuais de resíduo de vidro laminado automotivo.

Formulações	% de resíduo	Teórico, segundo Appen α ($10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$)	Experimental α ($10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$)	Erro (%)
FI 32 std	0%	75,3	62,8	-16,6
F38	~8%	70,8	61,4	-13,3
F38A	15%	74,9	63,7	-14,9

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 38 – Caracterização térmica das formulações com diferentes percentuais de resíduo de vidro laminado automotivo, em relação à amostra-padrão.

Formulações	% resíduo	Temperatura ($^\circ\text{C}$)			
		Transição vítrea	Sinterização	Amolecimento	Fusão
F38	~8%	633	875	885	1.255
F38A	15%	629	835	845	1.230
FI 32 std	0%	646	875	885	1.205

Fonte: Elaborado pela autora.

Por fim, foi realizada uma caracterização da microestrutura dos esmaltes desenvolvidos comparando-os com o padrão FI 32 std. A partir da análise microestrutural é possível visualizar o tamanho e distribuição dos poros, defeitos e contaminações.

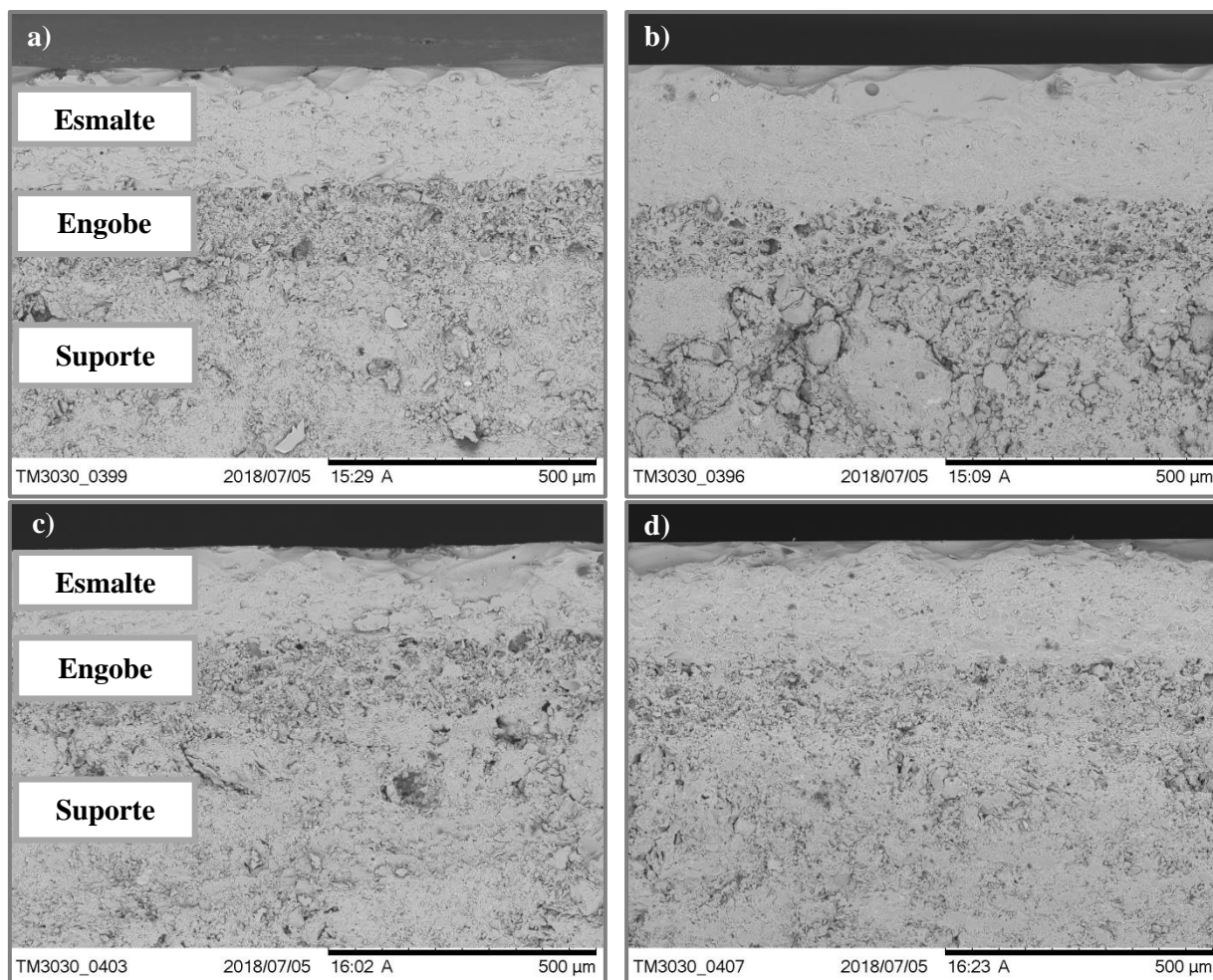
As imagens com ampliação de 150x obtidas por MEV (Figura 89) revelaram homogeneidade da microestrutura, pouca presença de poros e ausência de contaminantes.

A Figura 90 mostra as imagens com ampliação de 500x, nas quais, observa-se somente a camada de esmalte do revestimento cerâmico. Do mesmo modo, não foram encontradas diferenças consideráveis na microestrutura quanto à presença de tamanho dos poros e contaminantes, admitindo incorporação de ~8% de resíduo.

A Figura 91 mostra as imagens com ampliação de 1000x. Nesta imagem, evidencia-se uma quantidade maior de poros na amostra de esmalte com 15% de resíduo de vidro. Conseqüentemente, embasado nesse ensaio, constatou-se que o percentual ideal de

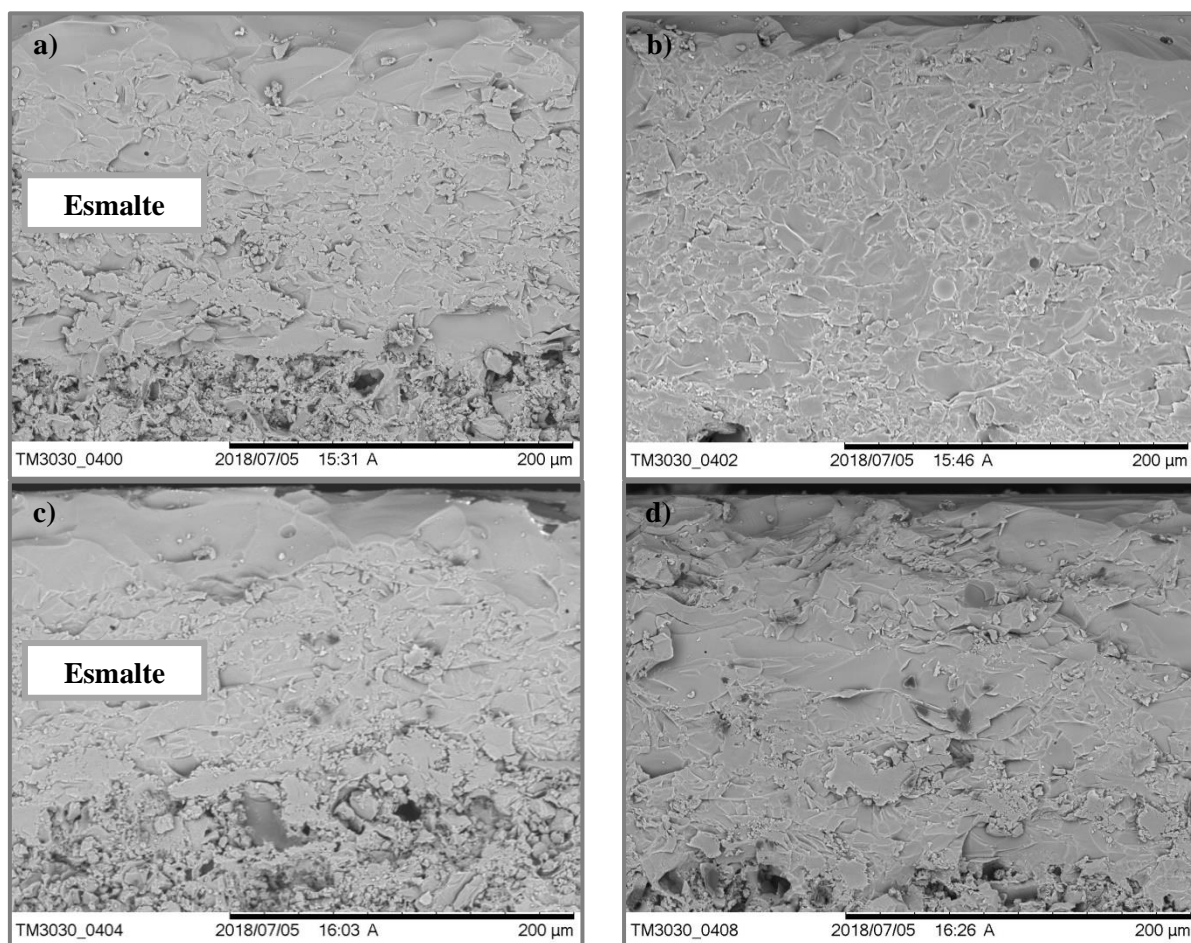
reaproveitamento de resíduo de vidro laminado é de ~8%, não causando danos à microestrutura do vidrado cerâmico.

Figura 89 – Imagem da seção transversal das amostras com diferentes percentuais de resíduo, comparativamente à amostra-padrão com 150x de ampliação. (a) FI 32 std; (b) F11; (c) F36; (d) F38.



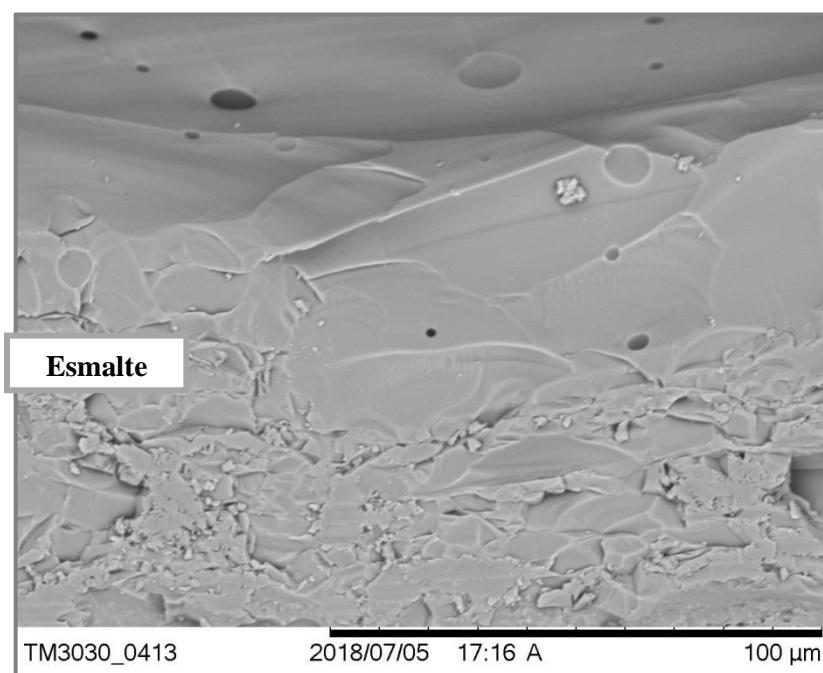
Fonte: (LCME, UFSC).

Figura 90 – Imagem da seção transversal das amostras com diferentes percentuais de resíduo, comparativamente à amostra-padrão com 500x de ampliação. (a) FI 32 std; (b) F11; (c) F36; (d) F38.



Fonte: (LCME, UFSC).

Figura 91 – Imagem da seção transversal da amostra F38A (15% de resíduo) com 1000x de ampliação.



Fonte: (LCME, UFSC).

Por fim, com o intuito de comparar a composição química obtida por meio do planejamento estatístico (*Design of Experiments – DOE*) com os resultados verificados experimentalmente (FRX), têm-se os dados da Tabela 40, para os diferentes percentuais de resíduo.

Tabela 39 – Comparativo entre a composição química das fritas cerâmicas obtidas através do planejamento estatístico (DOE) com os resultados obtidos pelo ensaio de FRX (% em peso).

Compostos (%)	0% de resíduo		~8% de resíduo						15% de resíduo	
	FI 32 std		11		36		38		38A	
	DOE	FRX	DOE	FRX	DOE	FRX	DOE	FRX	DOE	FRX
SiO ₂	57,7	60,0	55,0	55,3	65,0	64,6	62,0	63,5	62,0	64,0
B ₂ O ₃	3,2	-	6,0	2,4	3,0	-	6,0	-	6,0	-
Al ₂ O ₃	7,4	7,6	10,0	10,0	5,0	4,4	5,0	5,1	5,0	4,6
Fe ₂ O ₃	0,1	0,1	-	0,2	-	0,1	-	0,1	-	0,1
CaO	13,1	12,9	13,0	12,1	11,0	10,6	11,0	10,6	11,0	10,4
K ₂ O	5,4	5,0	6,0	5,4	6,0	5,5	6,0	5,5	6,0	5,3
MgO	1,2	1,3	-	0,8	-	0,7	-	0,8	-	1,0
Na ₂ O	2,1	2,3	-	2,6	-	2,2	-	1,9	-	2,6
P ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BaO	0,1	0,1	-	0,2	-	0,1	-	0,1	-	0,1
PbO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ZnO	8,9	10,0	10,0	10,5	10,0	11,1	10,0	11,4	10,0	10,8
ZrO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SrO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TiO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P.F.	-	0,3	-	0,32	-	0,4	-	0,3	-	0,3

Foram observados valores bastante semelhantes nos teores dos principais elementos (SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , ZnO) constituintes das fritas cerâmicas que, conseqüentemente, validam o planejamento estatístico realizado e conferem maior veracidade à totalidade de resultados obtidos neste capítulo.

7 ECONOMIA CIRCULAR E RESÍDUOS VÍTREOS NA REGIÃO CARBONÍFERA: UMA PRIMEIRA APROXIMAÇÃO

Este capítulo foi escrito embasado nos resultados obtidos nos capítulos anteriores, a partir dos quais foram pensadas alternativas de otimização para os canais reversos dos resíduos vítreos, sobretudo em âmbito regional e admitindo o máximo de circularidade para as rotas de reaproveitamento desse material.

Diante de todos os resultados aos quais se chegou, relativos ao diagnóstico sobre a geração, destinação e fluxo dos resíduos vítreos na região, incluindo a proposição de uma alternativa de reciclagem do vidro laminado automotivo, questionou-se quais as perspectivas para a valorização do vidro enquanto material infinitamente reciclável pelos municípios da AMREC? O que pode ser proposto, tendo em vista as características locais em termos de coleta seletiva, inclusão social e produtiva de catadores e segmentos econômicos preponderantes que potencialmente possam absorver os resíduos vítreos descartados?

Considerando o panorama nacional, os esforços mais representativos de uma tentativa de mudança referem-se, notadamente, à PNRS quando faz menção à logística reversa, e ao acordo setorial de embalagens, um compromisso firmado entre as esferas pública e privada como desmembramento e cumprimento da PNRS.

Igualmente, nos planos de gestão integrada de resíduos sólidos é estabelecida uma infinidade de metas, nas quais se incluem as metas de redução da quantidade de recicláveis secos dispostos em aterros sanitários. Estes números fornecem, portanto, uma perspectiva do que os poderes públicos federal, estaduais e municipais esperam alcançar dentro de cinco, dez ou vinte anos no tocante ao manejo de RSU e à valorização da fração potencialmente reciclável presente nos RSU.

Desse modo, o presente capítulo contextualiza inicialmente o acordo setorial de embalagens no país e contrapõem as taxas de desvio de aterro atualmente praticadas com as metas previstas nos planos de gestão de resíduos sólidos. A partir de tais indicadores é possível verificar a predominância de fluxos lineares e o quão distantes se está de rotas efetivamente circulares de reintegração ambiental, social e econômica de resíduos.

Com base em modelos de valorização dos resíduos vítreos já propostos ou adotados e do diagnóstico regional, são apontadas alternativas que podem contribuir para reversão do cenário atual, no tocante a melhorias nos sistemas de coleta seletiva e consequente valorização dos recicláveis por meio da logística reversa, com foco nos resíduos vítreos. Ou

seja, perspectivas para que se caminhe na direção de uma “economia um pouco mais circular” no âmbito da Região Carbonífera.

7.1 LOGÍSTICA REVERSA, INDICADORES DE REAPROVEITAMENTO DA FRAÇÃO RECICLÁVEL E ECONOMIA CIRCULAR

A PNRS elenca dentre os instrumentos para promoção da gestão compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos no país a logística reversa, além dos planos de gestão e dos sistemas de coleta seletiva. Trata-se, segundo a Lei, de um instrumento de desenvolvimento econômico e social, a ser implementado por meio de um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados à viabilização da coleta dos resíduos e sua restituição ao setor empresarial, com a finalidade de reaproveitamento em seu ciclo, em outros ciclos produtivos ou de promover a sua disposição de forma ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

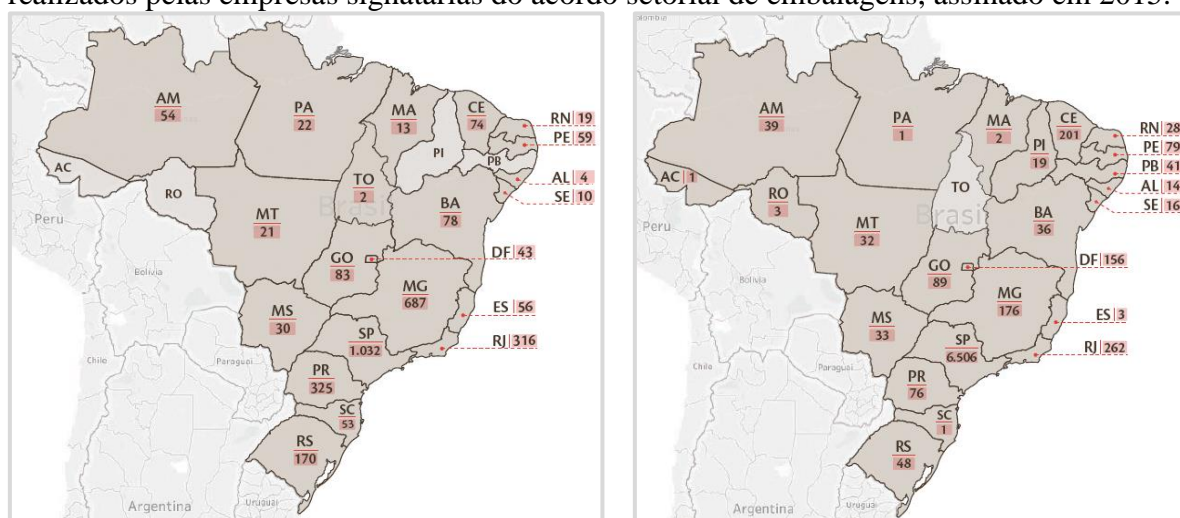
A responsabilidade de implementar canais reversos de reaproveitamento de algumas tipologias de resíduos, como agrotóxicos, pilhas e baterias, pneus, óleos lubrificantes, lâmpadas fluorescentes, produtos eletrônicos e seus componentes, é delegada aos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes. Essa responsabilidade é estendida a produtos comercializados em embalagens plásticas, metálicas ou de vidro. O comprometimento destes atores deve ser oficializado legalmente por meio de acordos setoriais e termos de compromissos (BRASIL, 2010).

Consequentemente, em 2012 foi publicado um edital pelo Ministério de Meio Ambiente (MMA) para elaboração de um acordo setorial destinado à promoção de um sistema nacional de logística reversa de embalagens. O plano nacional de resíduos sólidos (BRASIL, 2012) previu o ano de 2013 como início para sua implementação, em conjunto com a coleta seletiva, abrangendo toda a fração seca dos RSU descartados. Posteriormente, em 2015, o acordo foi assinado pela União, representada pelo MMA, e por um conjunto de empresas signatárias denominadas “Coalizão de embalagens” (CEMPRE, 2017).

O acordo caracteriza-se pela concessão de recursos por parte do setor empresarial às associações e cooperativas selecionadas para estruturação e implementação do sistema de logística reversa de embalagens no país tendo em vista a necessidade de aumentar a produtividade operacional das organizações de catadores. As ações incluem: capacitação institucional e operacional, diagnóstico técnico, melhoria na infraestrutura e condições operacionais, assessoria para gerenciamento de indicadores, comunicação e educação ambiental (CEMPRE, 2017).

As ações iniciais culminaram com a divulgação de um primeiro relatório de desempenho, em 2017, com resultados parciais, cuja abrangência pode ser vista na Figura 92. Compreende um diagnóstico das ações realizadas com as associações e cooperativas apoiadas pelas empresas signatárias do acordo. Foram apoiadas 702 organizações de catadores e realizadas 3.151 ações voltadas para capacitação, gestão, estruturação e adequação de suas atividades. Dentre os diversos equipamentos doados constam 23 trituradores de vidro.

Figura 92 – Número de ações em triagem e em número de PEV's por estados do país, realizados pelas empresas signatárias do acordo setorial de embalagens, assinado em 2015.



Ações em associações e cooperativas

Ações em PEV's

Fonte: (CEMPRE, 2017, p. 57).

Além das ações em triagem, a instalação, manutenção e operacionalização dos PEV's em lojas comerciais ou locais públicos e privados é um dos grandes objetivos do acordo, visando estimular e fortalecer a parceria entre fabricantes, distribuidores, comerciantes e usuários. A responsabilidade pela coleta e destinação do material recolhidos nos PEV's instalados em estabelecimentos comerciais é conferida aos fabricantes e importadores, sem oneração do comércio ou usuário. Foram instalados 2.103 PEV's e realizadas 7.861 ações de manutenção e operacionalização dos ecopontos (CEMPRE, 2017).

A escolha das associações e cooperativas a integrarem o sistema de logística reversa e serem apoiadas pela “Coalização de embalagens” obedece a alguns critérios, dentre os quais: localização em áreas de grande geração de resíduos; grupos de catadores cadastrados pelas prefeituras; mediante realização de diagnóstico de campo; organização jurídica mínima; verificação da autenticidade do trabalho desenvolvido e condição entre os membros; e apoio a entidades que ainda não receberam auxílio (CEMPRE, 2017).

Quanto à estrutura e aos atores que integram o sistema em questão, citam-se os usuários/consumidores, prefeituras, catadores individuais ou organizados, empresas comerciantes, fabricantes e distribuidoras, intermediários representados pelos sucateiros, aparistas e depósitos legalizados – agrupados na categoria “Comércio Atacadista de Materiais Recicláveis” (CAMR) – além dos recicladores. O fluxo das embalagens pós-consumo culmina com a reciclagem e posterior retorno ao mercado consumidor, conforme ilustra a Figura 93.

Figura 93 – Estrutura do sistema de logística reversa objeto do acordo setorial e identificação dos elos para descarte e destinação de embalagens em geral.



Fonte: (CEMPRE, 2017, p. 57).

Um segundo documento está sendo elaborado e possivelmente dará conta de informações mais detalhadas e da apuração dos investimentos necessários para a implementação gradativa da logística reversa no país, acrescida de variáveis econômicas, sociais e ambientais (CEMPRE, 2017). Cabe salientar que o acordo implica não somente o aumento de produtividade das associações e cooperativas, mas também a possibilidade de integração e inclusão social e produtiva da classe dos catadores, enquanto trabalhadores indispensáveis para a manutenção e consolidação de qualquer iniciativa nesse sentido.

Portanto, o acordo setorial é um documento elaborado após a PNRS (BRASIL, 2010) e posterior ao plano nacional de resíduos sólidos (BRASIL, 2012), que prevê como meta um acréscimo de 20% na recuperação das embalagens pós-consumo descartadas no país. Em relação ao plano nacional de resíduos sólidos são estabelecidas as seguintes metas de redução de recicláveis secos dispostos em aterro em relação ao total descartado (Tabela 40):

Tabela 40 – Metas de redução dos recicláveis secos dispostos em aterro, em percentual (%) – Brasil.

Região	Plano de metas				
	2015	2019	2023	2027	2031
Brasil	22	28	34	40	45
Região Norte	10	13	15	17	20
Região Nordeste	12	16	19	22	25
Região Sul	43	50	53	58	60
Região Sudeste	30	37	42	45	50
Região Centro-oeste	13	15	18	21	25

Fonte: Adaptado de (PNRS, 2012).

Esperava-se que em 2015 houvesse uma redução de 22% na quantidade de materiais recicláveis encaminhados para aterro e em 2019, que esse percentual corresponda a 28%. Na Região Sul, especialmente, os percentuais são superiores, tendo em vista que ultrapassam 40%.

Uma vez exposto o que foi feito e o que se pretende com o acordo setorial de embalagens e com o plano nacional de resíduos sólidos acerca do reaproveitamento da fração seca potencialmente reciclável, cabe aqui uma compilação objetiva dos principais indicadores contextualizados no capítulo 3 do presente estudo (Quadro 18):

Quadro 18 – Compilação de indicadores relacionados ao reaproveitamento da fração seca potencialmente descartada no país.

Aspecto analisado	Indicador	%	Quantidade
Composição gravimétrica	% de materiais potencialmente recicláveis na massa de RSU	34,8	22 milhões de t/ano
	% de resíduos vítreos na massa de RSU	2,4	1,5 milhão de t/ano
Destinação	% de materiais potencialmente recicláveis recuperados pelas unidades de triagem em relação ao total de RSU coletados	3,1	2,0 milhões de t/ano
	% de resíduos vítreos recuperados pelas unidades de triagem em relação ao total de resíduos vítreos potencialmente gerados	3,4	50,9 mil t/ano
Disposição	% de RSU encaminhados para aterros sanitários em relação ao total de RSU recebidos pelas unidades de processamento;	53,5	32,0 milhões de t/ano
	% de RSU encaminhados para lixões em relação ao total de RSU recebidos pelas unidades de processamento	9,7	5,9 milhões de t/ano
Coleta seletiva	% de desvio das vias de disposição final	2,2%	1,1 milhão de t/ano
	% de municípios brasileiros com coleta seletiva	22%	1.215 municípios

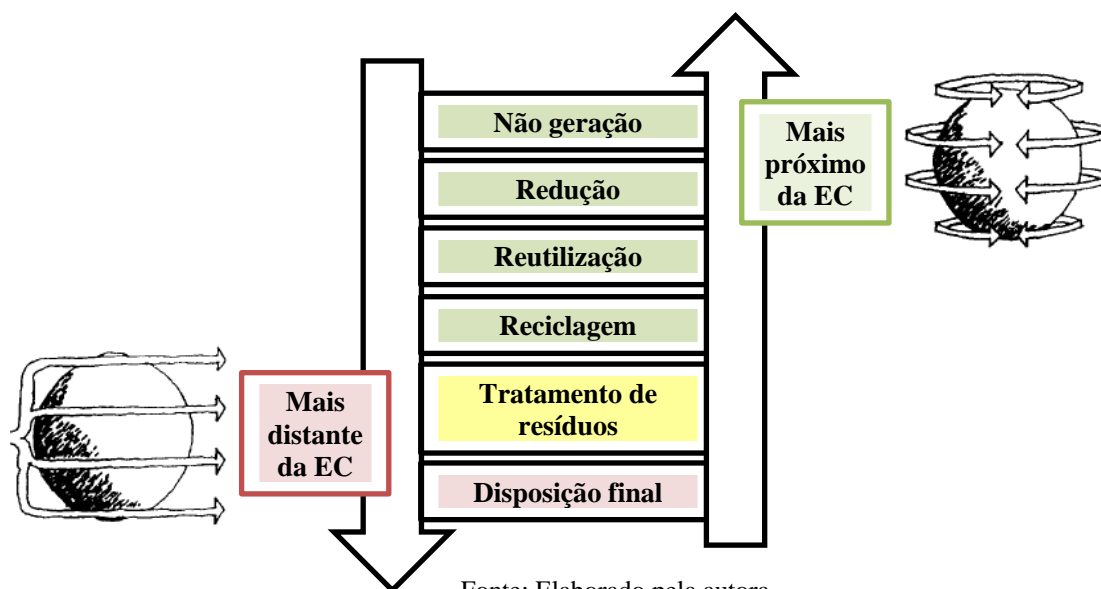
Fonte: Elaborado pela autora.

Notadamente, os percentuais praticados no país encontram-se muito abaixo do que foi estipulado como meta para os anos de 2015 e 2019 e revelam, possivelmente, números inatingíveis para os anos seguintes diante do atual cenário nacional relativo à gestão de RSU. Como reduzir a quantidade de recicláveis disposta em aterro em 34% até 2023 se o percentual de desvio das vias de disposição final praticada atualmente é de 2,2%? Mesmo admitindo que esse percentual se eleve gradativamente, dificilmente se alcançará o que o plano nacional prevê.

Logo, as vias de disposição final, nas quais se incluem os lixões, são prioritariamente adotadas como alternativa de encaminhamento dos resíduos sólidos, em detrimento da possibilidade de recuperação da fração potencialmente reciclável por meio de sistemas de coleta seletiva efetivos e articulados com as unidades de triagem na forma de associações e cooperativas de catadores.

Nesse sentido, é visto que predominam fluxos lineares de produção, consumo e descarte, mostrando o quão distante a gestão de RSU no país está de caminhar no sentido de uma “economia mais circular”, como ilustra a Figura 94. Promover a circularidade dos resíduos implica em poupar recursos e evitar a ocorrência de diversas formas de degradação, bem como, gerar benefícios sociais e econômicos para os integrantes que compõem as cadeias de produção e reciclagem dos diversos tipos de resíduos, estendendo os impactos positivos sobre a população de modo geral.

Figura 94 – Ações características da gestão de RSU, por ordem de prioridade, e relação com a economia circular.



Fonte: Elaborado pela autora.

Na Região Carbonífera, o cenário se assemelha aos dados nacionais, principalmente, no que se refere à impossibilidade de atingir as metas previstas nos planos de gestão municipais. Conforme Tabela 41, para o ano de 2019, espera-se uma redução de 50% na quantidade de recicláveis enviados para aterro sanitário pelos municípios consorciados ao CIRSURES. As metas para as cidades de Criciúma, Içara e Siderópolis, para o mesmo ano, variam entre 20,5 e 21,0%, devendo superar 40% em 2031, no caso de Criciúma e Içara.

Tabela 41 – Metas de redução dos recicláveis secos dispostos em aterro: taxa de desvio de aterro em percentual (%) – Região Carbonífera, SC.

Município	Planos de metas			
	2019	2023	2027	2031
Municípios CIRSURES	50	53	58	60
	Imediato (até 3 anos)	Curto prazo (3 a 9 anos)	Médio prazo (10 a 15 anos)	Longo prazo (16 a 20 anos)
Criciúma	21,0	38,9	42,2	43,7
Içara	17,3	37,5	41,1	42,7
Siderópolis	20,5	25,2	27,6	28,5

Fonte: Adaptado de (CIRSURES, 2013; CRICIÚMA, 2016; IÇARA, 2016; SIDERÓPOLIS, 2016)

Enquanto se espera que os municípios integrantes do CIRSURES reduzam em 53% a quantidade de recicláveis dispostos no aterro e que a cidade de Criciúma diminua em 38,9% o montante disposto na RAC Saneamento até 2023, no Quadro 19 constam indicadores que expressam a dificuldade de atender as metas previstas.

Quadro 19 – Compilação de indicadores relacionados ao reaproveitamento da fração seca potencialmente descartada na Região Carbonífera.

Aspecto	Indicador	%	Quantidade
Composição gravimétrica	% de materiais potencialmente recicláveis na massa de RSU;	38,5	36 mil t/ano
	% de resíduos vítreos na massa de RSU;	4,0	4,1 mil t/ano
Destinação	% de materiais potencialmente recicláveis recebidos pelas unidades de triagem em relação ao total de RSU coletados;	3,2	3,0 mil t/ano
	% de rejeito na massa recebida pelas unidades de triagem locais	47%	1.410 mil t/ano
	% de resíduos vítreos recuperados pelas unidades de triagem em relação ao total de resíduos vítreos potencialmente gerados	4,0	160,6 t/ano
Disposição	% de municípios que adotam aterro sanitário como forma de disposição final	100%	12 municípios
Coleta seletiva	% de desvio das vias de disposição final	2,6%	2.501,9 t/ano
	% de municípios da região com coleta seletiva	91,7%	11 municípios
	% da população atendida pela coleta seletiva (média)	55,1%	237.042 hab.

Fonte: Elaborado pela autora.

Embora a coleta seletiva represente uma realidade no âmbito da AMREC, o fato de ofertá-la não significa que a mesma esteja sendo desenvolvida com efetividade, em termos de abrangência e, sobretudo, adesão da população. Prova disso é que diante da quantidade de RSU gerada na região, um montante relativamente pequeno chega às unidades de triagem locais, do qual 47% é descartado pelo grau de contaminação decorrente da ausência de segregação na fonte geradora.

Quanto aos resíduos vítreos, estes se fazem presentes em maior quantidade nos RSU descartados na Região Carbonífera, comparativamente ao cenário nacional. No entanto, a quantidade recebida e conseqüentemente recuperada pelas unidades de triagem, em ambos os cenários, é praticamente a mesma e não ultrapassa 4,0% do total potencialmente descartado.

7.2 VALORIZAÇÃO DO VIDRO PÓS-CONSUMO: MODELOS E POSSIBILIDADES

Na Europa, os sistemas de coleta seletiva de vidro foram implementados ainda na década de 1980 e de acordo com diretiva europeia de 2018, a reciclagem desse material deve alcançar 70% em todos os estados-membros até 2025 (FEVE, 2018; COMISSÃO EUROPEIA, 2018). Nos países europeus a taxa de coleta seletiva de vidro varia entre 59 e 95% (ACR+, 2012). No Brasil, estima-se que 47% das embalagens de vidro sejam recicladas, um percentual estagnado desde 2007.

Foram identificados como métodos de coleta de vidro pelos órgãos responsáveis europeus a modalidade porta-a-porta e os ecopontos chamados de bancos de garrafas (“*bottle bancks*” ou “*brings bancks*”), onde são instalados coletores monomateriais, prevendo a sua colocação em locais de geração expressiva e onde se concentram empresas fabricantes de resíduos e produtos vítreos (“*container parks*”). A segregação é feita por cor e/ou tipo (ACR+, 2012).

De modo geral, o sistema de logística reversa de vidro pós-consumo na Europa caracteriza-se pela destinação de dois tipos de vidro: os reutilizáveis (“*reusable drink container*”) e os recicláveis (“*on one way container*”). Uma vez descartada nos bancos de garrafas (Figura 95), por exemplo, a embalagem é devolvida a uma loja autorizada, responsável pela coleta, higienização e posterior reinserção no mercado. No caso do vidro destinado à reciclagem, os insumos são beneficiados e utilizados na fabricação de novos produtos.

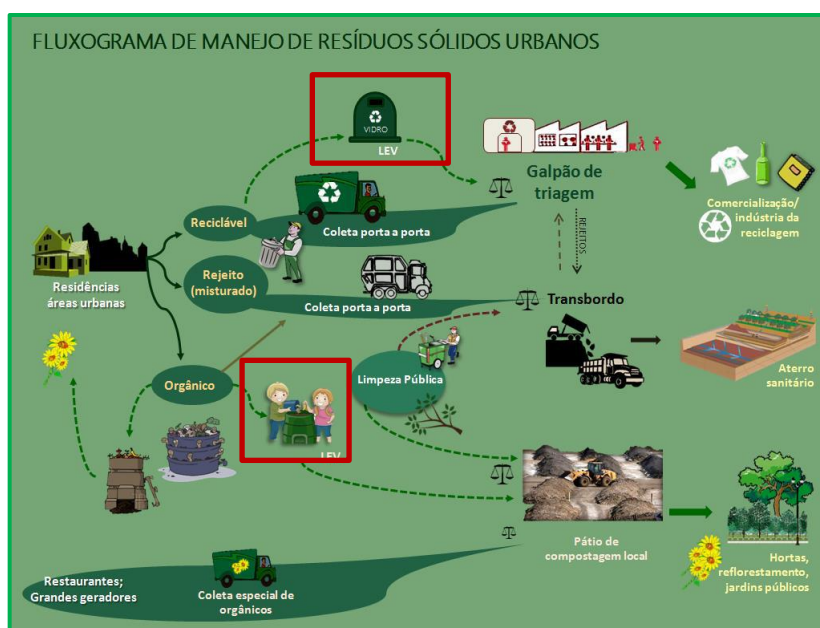
Figura 95 – Coletores de vidro na Alemanha, denominados “bancos de garrafas” (“*bottle bancks*”), cuja segregação é feita por cor – coleta monomaterial.



Fonte: (ACR+, 2012, p. 85)

No PMGIRS de Criciúma, Içara e Siderópolis, está prevista como uma das metas relacionadas ao reaproveitamento da fração seca de RSU, a implantação de um sistema de coleta monomaterial para o vidro, por meio de Locais de Entrega Voluntária (LEV's), destacados em vermelho na Figura 96. A seleção desses pontos leva em consideração alguns critérios, tais como: adensamento populacional, geração acentuada e facilidade de adesão à iniciativa (CRICIÚMA, 2016; IÇARA, 2016; SIDERÓPOLIS, 2016).

Figura 96 – Modelo tecnológico proposto para a gestão de RSU em municípios da AMREC, com destaque para o LEV.



Fonte: (IÇARA, 2016, p. 90).

Os postos de combustíveis são mencionados como ponto de partida para ofertá-los à população, podendo expandir para outras regiões e locais de maior geração, tais como: bares, restaurantes, condomínios multifamiliares, calçadas, vias públicas. A destinação do vidro por meio de LEV's (Figura 97) tem como objetivo minimizar o risco de acidentes, estimular a coleta seletiva por meio de caminhão caçamba com guindaste, tornando-a mais eficiente e menos onerosa e viabilizar a automatização do processo de coleta (CRICIÚMA, 2016; IÇARA, 2016; SIDERÓPOLIS, 2016).

Adverte-se, ainda, que a coleta seletiva exclusiva do material vítreo, por meio de PEV's, LEV's ou dos chamados “bancos de garrafas”, a exemplo da Europa, confere mais qualidade ao material, uma vez que o seu recolhimento em conjunto com os demais recicláveis aumenta o grau de contaminação e restringe as suas aplicações enquanto insumo secundário.

Figura 97 – Coletor monomaterial e caminhão coletor com caçamba e guindaste.



Fonte: (SIDERÓPOLIS, 2016, p. 99).

Na ocasião das audiências públicas realizadas pelas prefeituras integrantes do CIRSURES para a elaboração do plano intermunicipal, representantes da população em geral reportaram à necessidade de campanhas de sensibilização sobre o acondicionamento adequado do vidro junto a geradores pontuais, como bares, lanchonetes e restaurantes, com o propósito de evitar acidentes com a equipe de coleta e promover o incremento do montante recolhido pela coleta seletiva.

Foi determinado como prazo para a implementação dessa iniciativa dois anos após a deliberação do plano intermunicipal, o que corresponde ao ano de 2015. De todo modo, como pôde ser observado nos capítulos 4 e 5, não foi relatada nenhuma prática específica de

valorização dos resíduos vítreos pelo consórcio como um todo, a não ser a coleta conjunta com os demais materiais recicláveis na modalidade porta-a-porta.

Certamente, como forma de atender ao que foi determinado no plano, o CIRSURES publicou um documento em 2015, intitulado “Proposta para fortalecimento da triagem e recuperação de vidros”, no qual consta a quantidade estimada de resíduos vítreos gerados pelos municípios consorciados e as ações consideradas necessárias para o reaproveitamento local do vidro pós-consumo e no desvio desse material da rota de disposição final.

De todo modo, por meio da entrevista junto ao presidente da cooperativa que atua em parceria com o CIRSURES, verificou-se resistência em trabalhar com os resíduos vítreos. Foram ponderados como entraves, a receita irrisória gerada por esse material diante da mão de obra necessária para acondicioná-lo e transportá-lo, somada ao risco de acidentes e à ausência de um comprador.

O menor preço de venda, no âmbito da AMREC, é praticado na COOPERAMÉRICA (R\$ 20/t), enquanto nas demais unidades de triagem o vidro é comercializado a R\$ 30/t. Além disso, há somente um sucateiro atuante na região que se incube da coleta e por isso, certamente, é ele quem estipula ou ajusta o preço de compra.

Logo, as dificuldades relatadas pelo presidente da COOPERAMÉRICA refletem o mesmo cenário característico das outras associações e cooperativas atuantes na região. No documento publicado pelo CIRSURES (2015) sugere-se um preço de venda de R\$ 60/t de vidro a exemplo do que é praticado em Florianópolis.

A proposta de fortalecimento da triagem e recuperação de vidros descartados pelos municípios integrantes do CIRSURES inclui, inicialmente, a realização de campanhas de divulgação sobre a correta destinação do vidro, já realizada por meio de mídias locais – rádios, jornais, sonorização e palestras educativas (CIRSURES, 2015).

Ainda de acordo com tal proposta, sugere-se que os resíduos vítreos sejam recolhidos pelas coletas convencional e seletiva, ambas porta-a-porta e, paralelamente, descartados pela população em ecopontos instalados em locais estratégicos em cada um dos municípios, estimulando a entrega voluntária. Os vidros podem ser segregados por cor e acondicionados em caçambas estacionárias tipo *brooks* de 5 m³, obedecendo às categorias “âmbar e misto” ou “misto e marrom”. Em relação às embalagens unitárias, cuja destinação é a reutilização, as mesmas são e podem continuar sendo armazenadas em *bags* (CIRSURES, 2015).

Logo, tendo em vista que a forma de acondicionamento praticada nas unidades de triagem locais (Figura 98), recomenda-se o emprego de caçambas estacionárias com ampla capacidade de armazenamento e que possam ser colocadas na área externa das cooperativas sem quaisquer prejuízos ao material vítreo segregado.

Figura 98 – Coletores para materiais vítreos: (a) recipientes utilizados nas unidades de triagem locais atualmente e (b) caixa tipo *brooks*, indicada para armazenamento do vidro pós-consumo segregado por tipo ou cor.



Fonte: (SOUZA-DAL BÓ, 2017).

A proposta do CIRSURES (2015) caracteriza-se por ser uma iniciativa a ser implementada, que teve como exemplo o projeto de coleta seletiva de vidro desenvolvido pela COMCAP em Florianópolis (COMCAP, 2013), ilustrado pela Figura 99. Os coletores específicos, também chamados de “papas vidros”, são colocados em pontos estratégicos e a coleta é realizada por meio de caminhão equipado com guindaste. Após a coleta, os resíduos vítreos podem ser levados para um depósito ou para unidades de triagem, beneficiamento e comercialização.

A triagem e o beneficiamento ficam a cargo de empresa parceira ou de associações e cooperativas, cujas atividades a serem realizadas são: separação dos vidros reutilizáveis; classificação do vidro em duas categorias por cor: misto e âmbar; lavagem e remoção das impurezas do vidro; e trituração dos cacos (COMCAP, 2013).

Figura 99 – Proposta para coleta e destinação do vidro pós-consumo adotada pela COMCAP em Florianópolis, SC.



Fonte: (COMCAP, 2013, p. 3).

7.2.1 Proposição de cenários a partir da regionalização da gestão integrada de resíduos sólidos na AMREC

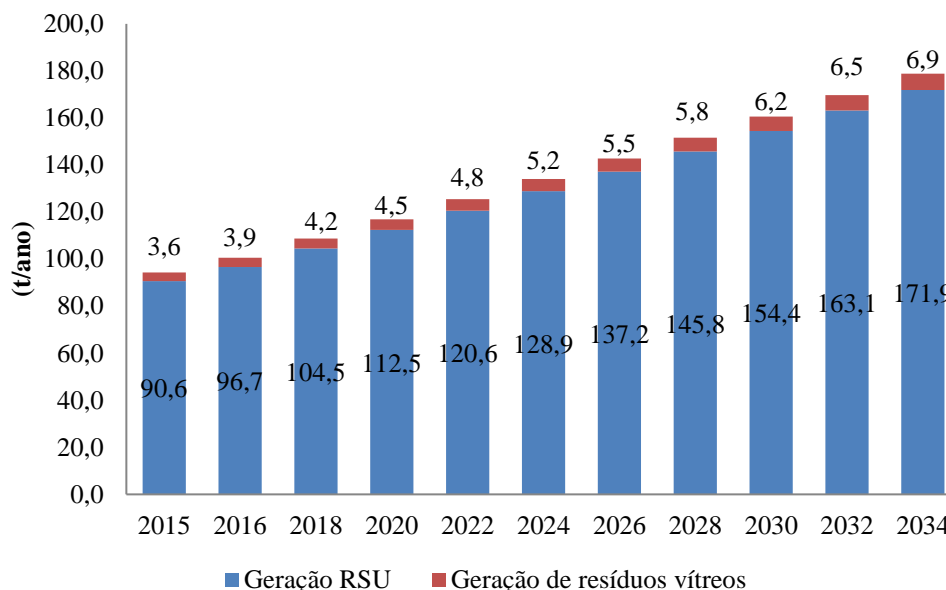
Embasado nos PMGIRS de Criciúma e Siderópolis (CRICIÚMA, 2016; SIDERÓPOLIS, 2016) e admitindo uma taxa de crescimento médio da geração *per capita* de 3,53%² para a Região Carbonífera, fez-se uma projeção da geração de resíduos ao longo dos anos, incluindo a produção de resíduos vítreos, que representa, em média, 4,0% do total descartado no âmbito da AMREC (Figura 100).

De acordo com as estimativas, em 2034, a população regional alcançará a casa dos 500 mil habitantes e a geração de resíduos, de 90,6 mil t/ano em 2015, chega a quase 172 milhões de toneladas. Quanto aos resíduos vítreos, considerando o ano de 2015 como referência, tem-se a duplicação da produção dentro de 20 anos.

No prognóstico dos planos de gestão de Criciúma, Içara e Siderópolis, aprovados mais recentemente, em 2016, há uma proposta de regionalização da gestão integrada de resíduos sólidos. Os municípios da AMREC são agrupados em dois consórcios ou centrais de gerenciamento de resíduos sólidos, cujas cidades polo são: Criciúma e Urussanga.

² Conforme recomendação do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2012), a taxa de geração *per capita* de resíduos se eleva em 5,68% para municípios entre 101 mil e 1 milhão de hab. e de 3,33% para municípios até 100 mil hab. Logo, optou-se por usar um valor médio, considerando que 11 municípios da AMREC caracterizam-se por um crescimento de 3,33% e um município por 5,68%.

Figura 100 – Projeção da geração de RSU e da geração de resíduos vítreos, AMREC (2015-2034).



Fonte: Elaborado pela autora a partir dos PMGIRS.

Na região de Criciúma, um consórcio deverá ser formado pelos municípios que atualmente dispõem seus resíduos na RAC Saneamento. São eles: Balneário Rincão, Criciúma, Forquilha, Içara e Nova Veneza. Admite-se para esse consórcio, uma população estimada de 316.936 hab., produção média *per capita* de 0,58 kg/hab./dia e produção total de 193,0 t/dia (Tabela 42).

Tabela 42 – Caracterização da geração de RSU na central de gerenciamento de Criciúma, SC.

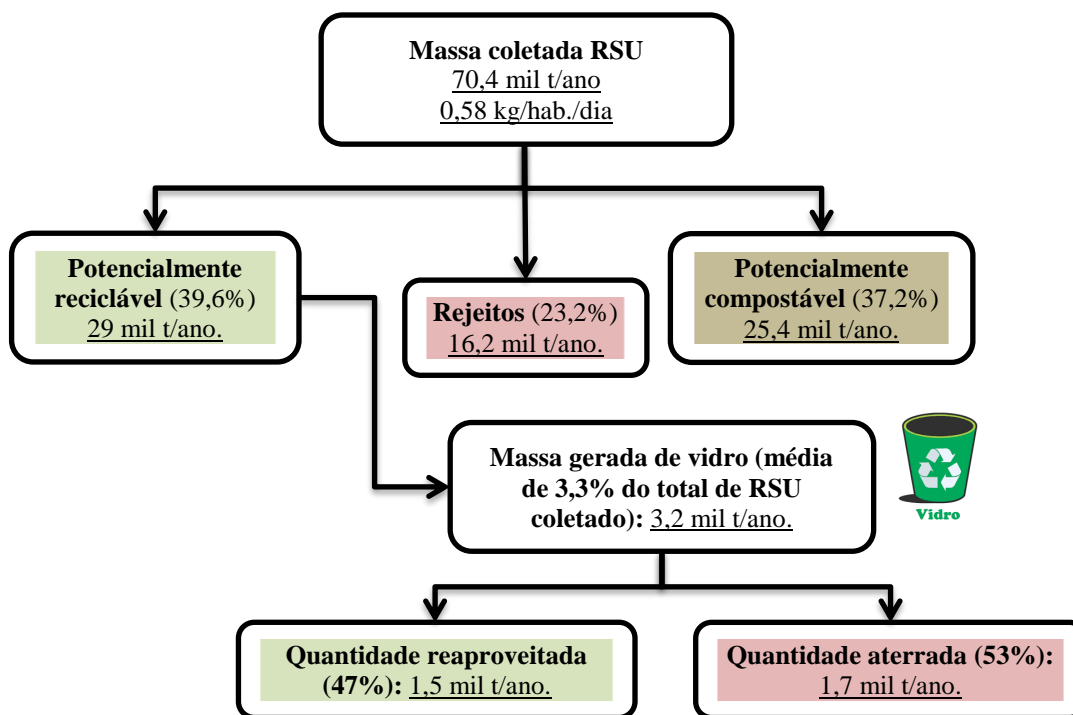
Municípios	Distância do aterro (km)	Produção <i>per capita</i> (kg/hab./dia)	Produção total (t/dia)	População estimada (CRICIÚMA, 2017)
Bal. Rincão	19	0,94	11,5	12.277
Criciúma	18	0,66	140,3	212.617
Forquilha	14	0,37	9,6	26.048
Içara	24	0,49	25,2	51.404
N. Veneza	40	0,43	6,3	14.590
Média	23	0,58	Soma	Soma
			193,0	316.936

Fonte: Adaptado de (FORQUILHINHA, 2010; NOVA VENEZA, 2013; CRICIÚMA, 2016; IÇARA, 2016; SIDERÓPOLIS, 2016).

A central de gerenciamento de resíduos com sede em Criciúma caracteriza-se pela geração anual de 70,4 mil toneladas de RSU. Desse montante, estima-se que 3,2 mil t/ano são resíduos vítreos. Admitindo que o índice de reciclagem de embalagens de vidro no Brasil é de 47% (BRASIL, 2018), projeta-se um cenário desejável em que a taxa de reciclagem nacional é reproduzida no âmbito dos modelos tecnológicos propostos para a AMREC.

Logo, para a central de Criciúma e diante da totalidade de resíduos vítreos gerados, 1,5 mil t/ano de vidro pós-consumo seriam reaproveitadas por meio da reciclagem e 1,7 mil t/ano seguiriam para a RAC Saneamento, conforme ilustra a Figura 101.

Figura 101 – Caracterização da geração de RSU na central de gerenciamento de Criciúma, SC – reaproveitamento de resíduos vítreos a uma taxa de 47%.



Fonte: Elaborado pela autora.

Na região de Urussanga, uma central de gerenciamento de resíduos deverá ser instituída pelos municípios que atualmente dispõem seus resíduos no CIRSURES. São eles: Cocal do Sul, Lauro Muller, Morro da Fumaça, Orleans, Siderópolis, Treviso e Urussanga. Admite-se para a central de gerenciamento do CIRSURES, uma população estimada de 109.749 hab., uma produção média *per capita* de 0,60 kg/hab./dia e uma produção total de 67,6 t/dia (Tabela 43).

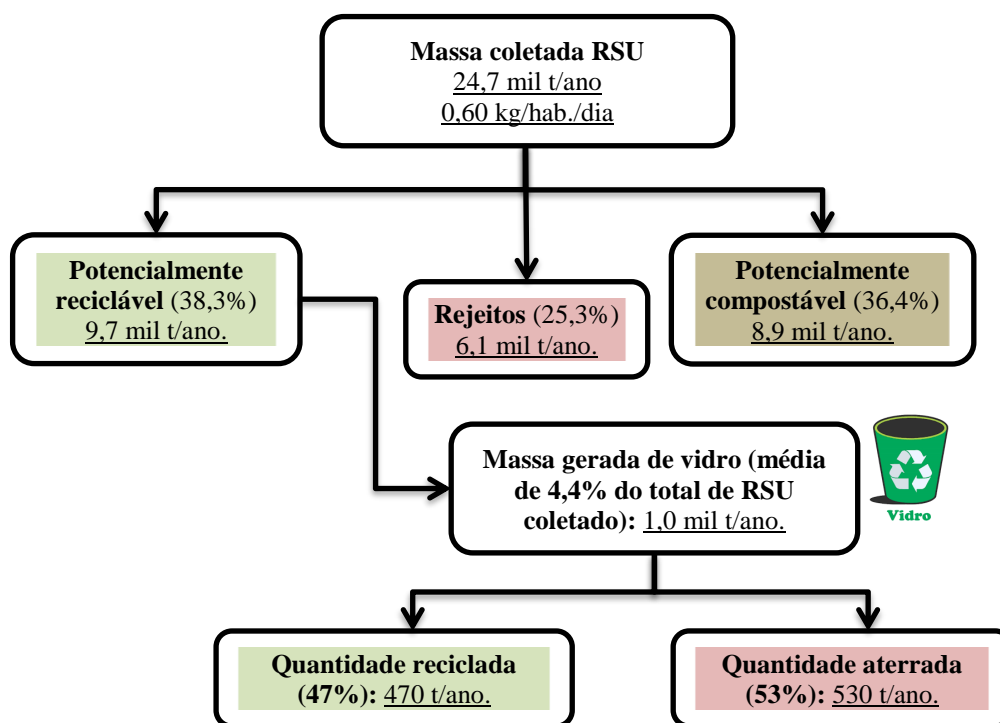
O consórcio com sede em Urussanga caracteriza-se pela geração anual de 24,7 mil toneladas de RSU. Desse montante, estima-se que 1,0 mil t/ano são de resíduos vítreos. Reproduzindo a taxa de reciclagem de vidro no país como cenário desejável, pontua-se que 470 t/ano de resíduos vítreos seriam reaproveitadas através da reciclagem e 530 t/ano encaminhadas para o aterro (Figura 102).

Tabela 43 – Caracterização da geração de RSU na central de gerenciamento de Urussanga, SC.

Municípios	Distância do aterro (km)	Produção <i>per capita</i> (kg/hab./dia)	Produção total (t/dia)	População estimada (CRICIÚMA, 2017)
Cocal do Sul	18	0,65	10,6	16.250
Lauro Muller	20	0,49	7,3	14.926
Morro da Fumaça	30	0,72	12,5	17.329
Orleans	28	0,69	15,5	22.401
Siderópolis	19	0,54	7,4	13.680
Treviso	17	0,54	2,1	3.822
Urussanga	8	0,58	12,4	21.341
	Média 20	Média 0,60	Soma 67,6	Soma 109.749

Fonte: Adaptado de (FORQUILHINHA, 2010; NOVA VENEZA, 2013; CRICIÚMA, 2016; IÇARA, 2016; SIDERÓPOLIS, 2016).

Figura 102 – Caracterização da geração de RSU na central de gerenciamento de Urussanga, SC – reaproveitamento de resíduos vítreos a uma taxa de 47%.



Fonte: Elaborado pela autora.

A partir de tais dados, foi possível simular cenários de reaproveitamento dos resíduos vítreos para a região, mensurando os custos relativos ao vidro aterrado e ao faturamento obtido com a comercialização desse material pelas associações e cooperativas de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis atuantes na Região Carbonífera.

Considerou-se uma geração de RSU de 93,5 mil t/ano, das quais 4,0%, em média, constituem-se por resíduos vítreos. O valor da tonelada depositada em aterro sanitário variou entre R\$ 99,98/t e R\$191,98³ e o preço de venda médio de vidro misto oscilou entre R\$ 27,50/t e R\$ 60/t⁴, conforme mostra a Tabela 44:

Tabela 44 – Variação admitida para projeção dos cenários de reaproveitamento dos resíduos vítreos, Região Carbonífera, SC.

Cenário	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
R\$/t RSU	99,9	109,2	118,4	127,6	136,8	145,9	155,2	164,4	173,6	182,8	191,9
R\$/t vidro	27,5	32,75	38,0	43,3	48,5	53,8	59,0	64,3	69,5	74,8	80,0
% reaproveitado	4	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
% aterrado	96	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0

Fonte: Elaborado pela autora.

Parte-se do cenário atual, absolutamente desfavorável, elevando gradativamente o percentual de vidro reaproveitado e diminuindo a quantidade aterrada. Logicamente, para elevar o percentual atualmente praticado de 4% para 10% de reaproveitamento, por exemplo, é preciso direcionar esforços em proporções gigantescas para que se caminhe a passos lentos em direção de rotas mais sustentáveis e circulares em resíduos sólidos. Quanto maior o percentual de reaproveitamento, conseqüentemente, mais próximo ao cenário hipoteticamente ideal, representado pela economia circular na sua totalidade, conforme mostra a Figura 103.

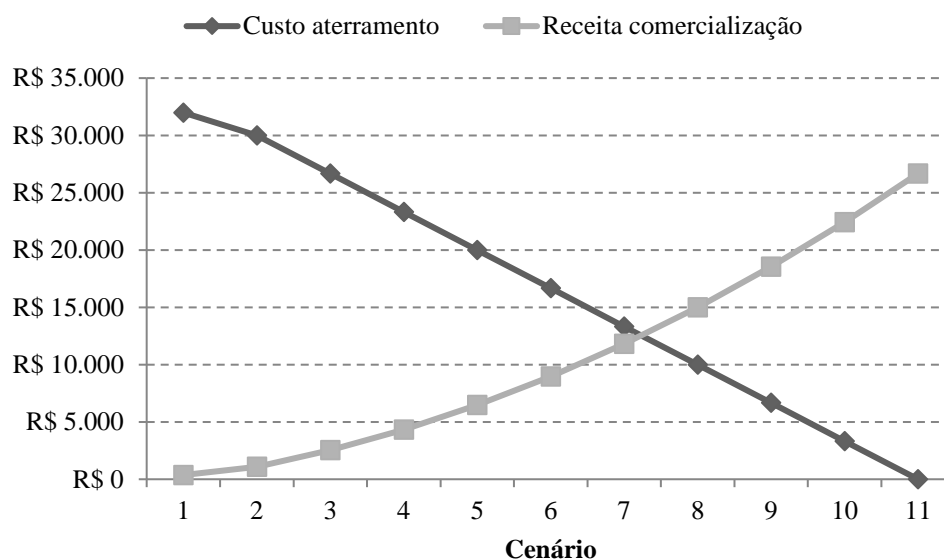
O cenário 1 caracteriza-se pela realidade diagnosticada atualmente nos municípios da Região Carbonífera, cuja receita gerada pela comercialização do vidro rende mensalmente um total de aproximadamente R\$ 400 reais. Em contrapartida, a estimativa de custo com o aterramento do vidro coletado pelo sistema convencional equivale a aproximadamente R\$ 32 mil reais mensais.

Considerando a taxa de reciclagem para o vidro no país, que é de 47%, tem-se o cenário 6 como referência, em que 50% dos resíduos vítreos são aterrados e 50% são reaproveitados. A receita gerada com a comercialização desse material a R\$ 53,80/t se aproximaria de R\$ 9 mil reais.

³ O valor de 99,98 foi repassado pelo CIRSURES, via contato telefônico, em novembro de 2018, como custo praticado no ano de 2018. Embora esse dado também tenha sido solicitado à RAC Saneamento, a empresa optou por não informá-lo. Para o CIRSURES, com base na variação entre os anos de 2015 (R\$63,48/t RSU) e 2018 (R\$ 99,98/t RSU), fez-se uma projeção considerando um aumento de R\$9,20/ano.

⁴ Considerou-se a média para os valores da ACAFOR (R\$ 20/t), ACRICA (R\$ 30/t), COOPERAMÉRICA (R\$ 20/t) e CTMAR (R\$ 30/t) = R\$ 27,50/t. Como em SC o valor de venda é de R\$ 80/t (CEMPRE, 2018), fez-se a projeção considerando uma variação entre R\$ 27,50/t e R\$ 80/t de vidro, passando pelo valor sugerido pelo CIRSURES (2015) e praticado em Florianópolis (SC) que é de R\$ 60/t.

Figura 103 – Estimativa mensal de custos relativos ao aterramento e à receita obtida com a comercialização dos resíduos vítreos no âmbito da AMREC: diferentes cenários.



Fonte: Elaborado pela autora.

Observa-se que o ponto de mudança no gráfico da Figura 103 se dá no cenário 8, cuja taxa de reaproveitamento é de 70% e representa a meta a ser alcançada por todos os estados-membros europeus até 2025. Enquanto a receita se eleva para cerca de R\$ 15 mil reais, o custo com o aterramento cairia para R\$ 10 mil reais.

7.2.2 Reaproveitamento local do vidro pós-consumo

Tendo em vista que os resíduos de vidro de embalagem e de vidro plano laminado descartados na região da AMREC são encaminhados para vidrarias localizadas nos estados de SP e RS, caminhar no sentido de uma economia circular implica em aumentar a taxa de desvio das rotas de disposição final e promover o reaproveitamento local do vidro pós-consumo gerado na região.

Para tanto, pensando em agregar valor ao resíduo e sabendo que a região conta com um parque cerâmico bastante consolidado, caberia pensar no beneficiamento dos diversos tipos de vidro, especialmente do vidro de embalagens proveniente da coleta seletiva, e na possibilidade de fornecimento de insumos para esse segmento.

De acordo com o mapeamento feito acerca dos agentes integrantes da cadeia de reciclagem de vidro, situam-se na AMREC duas empresas beneficiadoras: uma delas inserida há anos na cadeia do vidro plano e a outra que emprega vidro plano e também recebe garrafas

descartadas por estabelecimentos comerciais da região. Ambas são fornecedoras de insumos para o segmento cerâmico com abrangência na região sul do estado de SC.

A única empresa recicladora entrevistada, pertencente ainda que indiretamente à cadeia de reciclagem de vidro, não possui nenhum fornecedor no âmbito da região, tampouco recebe resíduos vítreos provenientes dos sistemas de coleta seletiva municipais. Do mesmo modo que os beneficiadores supracitados, o reciclador compreende um fornecedor de insumos para as indústrias cerâmicas de pequeno e médio porte da região.

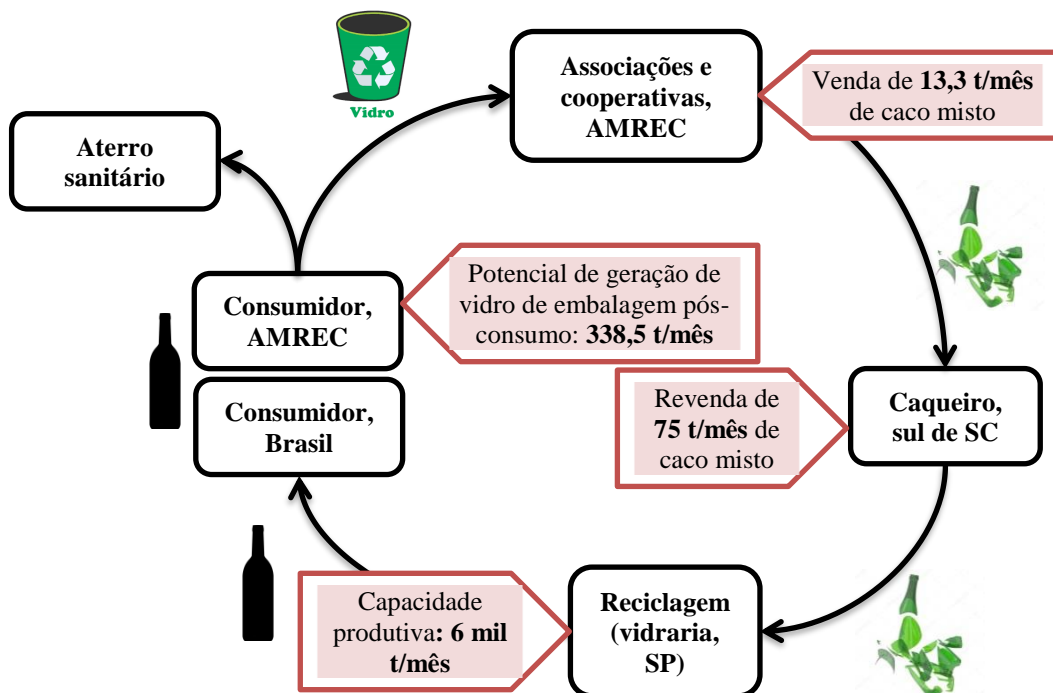
Logo, é importante salientar que a rota atualmente mais consolidada de reaproveitamento de vidro no âmbito da AMREC caracteriza-se pelo emprego do vidro plano proveniente de estabelecimentos da região (vidraçarias, empresas de esquadrias e vidros) e de outros estados. Somadas a capacidade produtiva dos beneficiadores (410 t/mês) e a do reciclador (2.500 t/mês), tem-se aproximadamente 3 mil t/mês de insumos cerâmicos fabricados a partir de matéria-prima secundária e reaproveitados localmente. A quantidade de vidro necessária para atender essa produção, proveniente da região e, sobretudo, de outros estados, é de cerca de 500 t/mês.

Comparativamente, em relação ao vidro de embalagem coletado pelo serviço seletivo, cuja geração foi estimada em 4 mil t/ano ou 338,5 t/mês, o sucateiro de vidro misto sediado em Morro da Fumaça consegue arrecadar e revender para uma vidraria de São Paulo, 75 t/mês, das quais somente 13,3 t/mês provêm das associações e cooperativas de catadores locais, conforme ilustra a Figura 104.

No caso do vidro laminado automotivo, cuja coleta e destinação são realizadas por empresas do Rio Grande do Sul, também caberia analisar a viabilidade de reaproveitá-lo na própria região, tendo em vista o descarte estimado em 930 unidades/mês equivalentes a 13,9 t/mês e, sobretudo, a possibilidade de incorporá-lo como substituto de matérias-primas virgens na fabricação de fritas e esmaltes cerâmicos, demonstrada experimentalmente no capítulo 6.

Em face da possibilidade de reaproveitamento dos vidros de embalagem e plano, incluindo o laminado automotivo, pelo segmento cerâmico, a circularidade dos resíduos vítreos está atrelada à interligação das fontes geradoras locais, enquanto potenciais fornecedores, e os atuais agentes integrantes da cadeia de reciclagem de vidro.

Figura 104 – Caracterização do principal fluxo de caco misto descartado no âmbito da AMREC, SC.



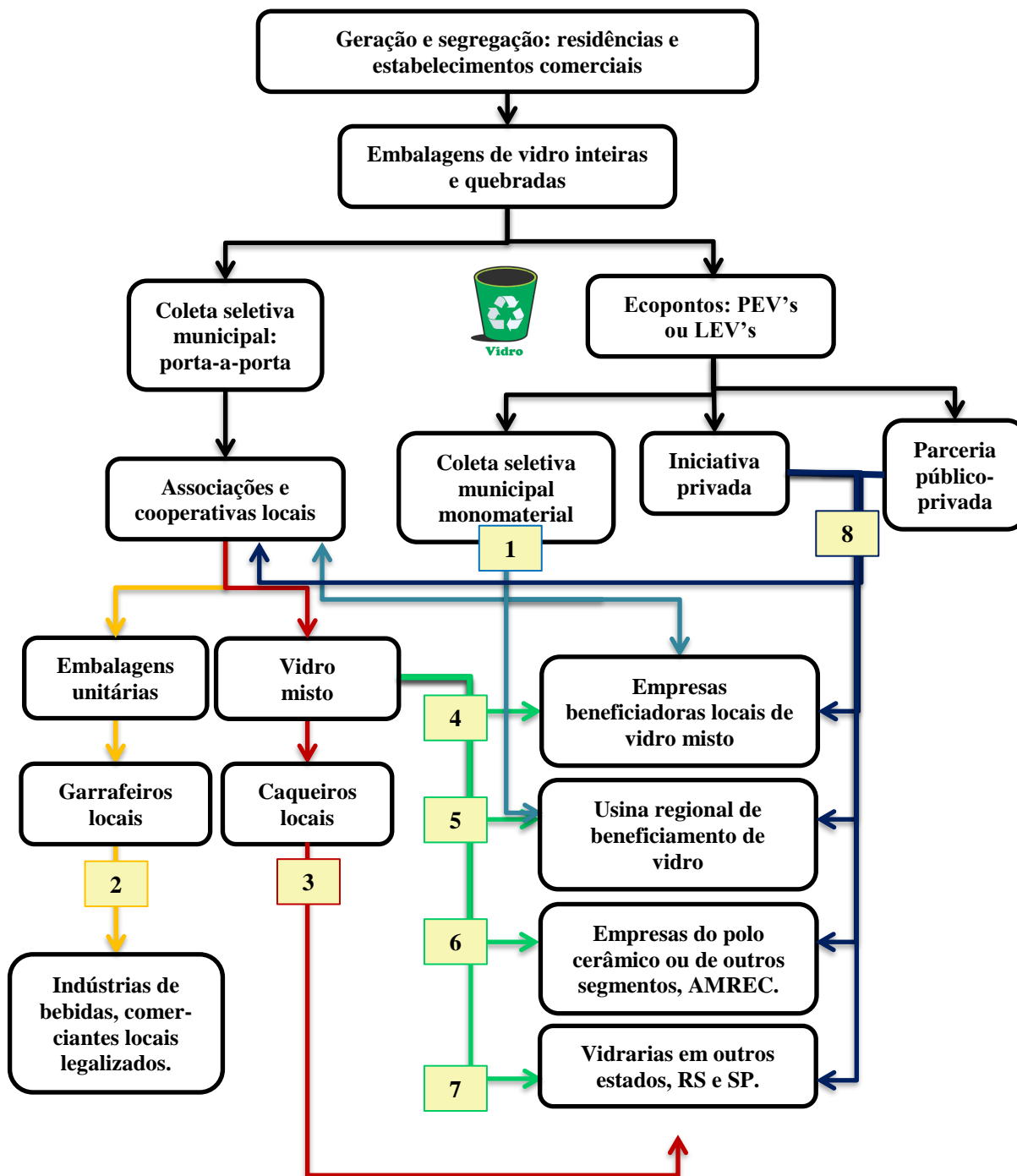
Fonte: Elaborado pela autora.

Essas seriam as razões que possivelmente justificam a instalação de uma usina de beneficiamento de vidro no âmbito da AMREC, que contemplaria como fornecedores, as unidades de triagem locais, a coleta seletiva porta-a-porta municipal, ecopontos instalados pela iniciativa pública (prefeituras, CIRSURES) e privada em locais de geração acentuada (postos de gasolina, bares, restaurantes, lanchonetes, supermercados, depósitos de venda de bebidas, áreas centrais, condomínios, universidades, escolas, grupos comunitários), além das vidraçarias e lojas de acessórios automotivos e estabelecimentos especializados em vidros automotivos.

Em cidades turísticas, inseridas em rotas gastronômicas, que se caracterizam pela presença de vinícolas, a exemplo de Nova Veneza e Urussanga, por exemplo, poderiam ser feitas parcerias estratégicas para coleta monomaterial. Do mesmo modo, essa iniciativa se estende a locais onde frequentemente ocorrem eventos festivos diurnos e noturnos e são comercializadas bebidas em grandes quantidades. Criciúma e Içara, por serem as cidades mais populosas e industrializadas da região, concentram um número maior de casas noturnas, que também representam uma das fontes potenciais de geração de vidro pós-consumo.

Portanto, analisando o fluxo dos resíduos vítreos na região, os integrantes da cadeia de reciclagem e o potencial de valorização do vidro pós-consumo, têm-se a formação da rede de alternativas ilustradas pela Figura 105. Cada número indica uma rota que pode ser implementada.

Figura 105 – Rede de alternativas para a otimização do reaproveitamento local do vidro pós-consumo no âmbito da Região Carbonífera, SC.



Fonte: Elaborado pela autora.

O vidro de embalagem pós-consumo deve ser coletado pelo sistema público seletivo, seja nas modalidades porta-a-porta em conjunto com os demais recicláveis ou, preferencialmente, através dos ecopontos – coleta monomaterial por meio dos PEV's ou LEV's, identificada pela “Rota 1”. No caso dos ecopontos, recomenda-se a coleta mecanizada com caminhão equipado com caçamba e guindaste.

A forma de destinação do material recolhidos nos PEV's ou LEV's, como incentivo aos empreendimentos solidários locais, seriam as associações e cooperativas em operação na região. Caso as unidades de triagem locais não disponham de infraestrutura para beneficiar o vidro, o material poderia ser enviado para empresas locais de beneficiamento ou para a usina de beneficiamento regional, admitindo a reciclagem pelo segmento cerâmico ou pelas vidrarias como destinação final.

Nas unidades de triagem, a segregação do material recebido é feita por tipo e cor. As embalagens danificadas podem ser armazenadas em caçambas estacionárias do tipo *brooks*, com o mínimo possível de contaminantes, compondo as cargas de vidro misto, e as embalagens unitárias sem imperfeições, seriam segregadas também por tipo e cor (vidros de conserva, café solúvel e garrafas de bebidas quentes, tais como uísque, cachaça e vinho) em *bags* ou em espaços específicos para tanto.

O vidro reutilizável poderia ser comercializado com as fábricas desses produtos ou com comerciantes locais, devidamente licenciados pela vigilância sanitária, conforme mostra a “Rota 2”. No caso do vidro misto, poderiam ser adotados cinco canais de escoamento a partir das associações e cooperativas de catadores, de acordo com o grau de infraestrutura das unidades de triagem e da quantidade e qualidade do material recebido, conforme detalhamento a seguir:

“Rota 3” – Caqueiro, como atualmente ocorre. Há somente um caqueiro na região que coleta as cargas nas associações e cooperativas e as revende para uma vidraria de São Paulo. O vidro é coletado com caminhão poliguindaste e transportado a granel até à indústria compradora, sem qualquer prática de beneficiamento.

“Rota 4” – Empresas locais de beneficiamento de vidro misto ou plano. Verificou-se uma empresa em Cocal do Sul que beneficia vidros de embalagem, plano e técnicos e os destina à indústria do segmento cerâmico. No entanto, não recebe cargas oriundas dos sistemas municipais de coleta seletiva. A empresa de beneficiamento mapeada em Içara trabalha somente com vidros planos e técnicos. Uma parceria poderia ser firmada com

ambos os agentes, como forma de escoar o vidro de embalagem e plano, mediante análise da viabilidade econômica;

“Rota 5” – Usina de beneficiamento regional de vidro, a ser implantada, para atender as duas centrais de gerenciamento integrado de resíduos sólidos: Criciúma e Urussanga. Essa alternativa, definitivamente, promoveria o reaproveitamento local do vidro pós-consumo, tanto do vidro misto, quanto plano, incluindo o laminado automotivo, que não precisaria ser encaminhado para o RS. Caso a indústria cerâmica não conseguisse absorver todo o vidro beneficiado, outras alternativas poderiam ser pensadas, dentre as quais, a destinação para outros segmentos regionais ou para vidrarias em outros estados.

“Rota 6” – Diretamente com recicladores locais. Caso as associações e cooperativas de materiais recicláveis e reutilizáveis possuíssem infraestrutura para beneficiar o vidro de embalagem pós-consumo e os armazenassem em quantidades significativas, poderiam agregar valor ao produto e comercializá-lo com recicladores do polo cerâmico. De acordo com o CIRSURES (2015), é uma alternativa a ser estudada a longo prazo, uma vez que depende da aquisição de equipamentos. Do mesmo modo, caso as indústrias cerâmicas não conseguissem absorver toda a quantidade produzida, as vidrarias situadas em outros estados poderiam representar alternativas de destinação.

“Rota 7” – Considerando as vidrarias como compradoras, o vidro não precisaria ser beneficiado. As unidades de triagem poderiam disponibilizar cargas maiores com o mínimo de contaminantes e arcar com os custos pelo transporte. Esse é o papel desempenhado pelo único sucateiro identificado na cadeia de reciclagem de vidro pós-consumo da região que atende às associações e cooperativas.

O vidro pós-consumo coletado nos PEV's ou LEV's sob responsabilidade da iniciativa privada, representada por empresas fabricantes de embalagens de vidro e recicladores de outros segmentos, caracteriza-se pelas mesmas vias de escoamento adotadas pelas unidades de triagem locais, agrupadas na “Rota 8”. Admite-se também que as associações e cooperativas de catadores podem ser uma das alternativas de destinação do material recolhido pela coleta monomaterial nos ecopontos, realizada pela iniciativa privada ou parceria público-privada.

No caso do vidro plano, o seu fluxo atual passa pelo sucateiro, que coleta os resíduos diretamente na fonte geradora e os encaminha para as empresas beneficiadoras desse tipo de vidro, tendo a reciclagem pelo segmento cerâmico como principal forma de destinação. Sob a

ótica da logística reversa, a coleta e destinação do vidro plano caberiam às indústrias fabricantes, em conjunto com comerciantes ou prestadores de serviços, que poderiam encaminhá-los para as mesmas alternativas descritas anteriormente na “Rota 8”, com exceção das associações e cooperativas de catadores.

Como a região constitui-se por 12 municípios e o modelo tecnológico de gestão de RSU descrito nos PMGIRS prevê a sua divisão em duas centrais de gerenciamento, deveriam ser pensadas alternativas de fortalecimento da coleta e triagem de vidro para cada cenário, tendo em vista as diferenças em termos de quantidade gerada, composição dos RSU descartados e aportes financeiros e operacionais.

Sabendo que os municípios ofertam a coleta seletiva à população da AMREC, ainda que parcialmente e na sua maioria através da modalidade porta-a-porta, caberiam investimentos na consolidação de um sistema de ecopontos ou de coleta monomaterial, para reduzir a quantidade de resíduos recicláveis enviados para as vias finais de disposição e diminuir o seu potencial de contaminação. A Tabela 46 apresenta uma estimativa de custos relacionados aos principais equipamentos necessários para a otimização da coleta e destinação dos resíduos vítreos na região.

Tabela 45 – Estimativa de custos relacionados à otimização da coleta e destinação de resíduos vítreos.

Equipamento	Custo unitário (R\$)
Caçamba estacionária tipo <i>brooks</i> de 5 m ³	3.500,00
LEV para coleta de monomaterial	3.750 – 4.500,00
Caminhão com caçamba e guindaste para a coleta de LEV de vidro	485.100,00
Moinho triturador de vidro	6.300,00

Fonte: (CIRSURES, 2015; CRICIÚMA, 2016; SIDERÓPOLIS, 2016).

Infelizmente, da totalidade de resíduos que chegam às unidades de triagem locais e reiterando que se trata de uma quantidade muito aquém do esperado, cerca de 50% caracteriza-se por rejeito, segundo os presidentes das associações e cooperativas. Logo, em face da presença de grande parte dos recicláveis contaminados na massa recolhida pela coleta seletiva, constata-se como a segregação na fonte geradora é falha e o quanto a população de modo geral e, sobretudo, os catadores e o meio ambiente são prejudicados.

Consequentemente, não são possíveis a reintegração ambiental e socioeconômica dos resíduos nas diferentes cadeias produtivas nas quais podem se inserir, localmente ou não, tampouco a inclusão social e produtiva de forma efetiva dos catadores nos sistemas de coleta seletiva municipais.

Logo, o fluxo circular de resíduos vítreos e a configuração mais clara das vias de logística reversa requerem que os resíduos sejam segregados corretamente na fonte geradora e que as formas de organizações de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis consigam desempenhar o seu papel, com fornecimento de quantidades suficientes de resíduos e com o mínimo possível de contaminantes.

Paralelamente, os demais responsáveis diretamente pela gestão compartilhada e pelo ciclo de vida dos produtos inseridos no mercado, precisam efetivar mecanismos concretos de coleta e destinação, integrados à atuação das associações e cooperativas. O acordo setorial de embalagens, ainda que configure uma iniciativa recente com resultados parciais, se bem direcionado e gerido, poderá expandir-se gradativamente e, num futuro próximo, diante da diversidade de elos que compõem as cadeias de produção e de reciclagem de cada material, derivar grupos de trabalho, políticas ou acordos específicos para cada tipo de embalagem.

No âmbito da Região Carbonífera, a exemplo do panorama nacional, caminha-se muito lentamente em busca da valorização dos RSU e da promoção de uma economia “mais circular”. Notadamente, o ponto-chave que possivelmente incrementará a taxa de reciclagem ou de coleta seletiva de vidro ou dos demais recicláveis está atrelado a práticas articuladas e contínuas de sensibilização ambiental que assegurem uma segregação adequada na fonte geradora, em conjunto com sistemas de coleta seletiva efetivos em termos de adesão da população e abrangência.

Por força da PNRS, que concebe a EA como um de seus instrumentos, determina-se que ela faça parte do conteúdo mínimo dos planos municipais de gestão integrada, por meio de programas e ações que promovam a não geração, redução, reutilização e reciclagem dos RSU. Desse modo, presumindo que os planos já são uma realidade no âmbito da região, ainda que no papel, ações de conscientização específicas para o vidro poderiam ser inseridas e trabalhadas no contexto dos programas de EA, nas modalidades formal e não formal, atentando para as escolas e grupos comunitários diversos como públicos-alvo.

Em suma, foram elencadas as práticas a seguir que podem ser adotadas para elevar as taxas de coleta seletiva, reciclagem e valorização dos resíduos vítreos, no contexto da Região Carbonífera e tomando a economia circular como referência de transição. Aliás, contemplá-la no bojo da problemática ambiental, especialmente, relacionando-a ao gerenciamento de RSU é uma forma de ressaltar que os padrões atuais de produção e consumo não podem ser mantidos.

- Diagnóstico quanti-qualitativo da geração de RSU e determinação da viabilidade de reciclagem para cada tipo de material;
- Implantar sistema de ecopontos (PEV's ou LEV's) em número e frequência de coleta compatíveis com a geração, além da sua manutenção em bom estado de conservação;
- Identificar pontos de adensamento populacional, enquanto fontes potencialmente geradoras de resíduos vítreos nos municípios da AMREC, para colocação dos PEV's ou LEV's;
- Promover programa de informação e sensibilização em educação ambiental junto aos municípios, estimulando a segregação adequada dos materiais recicláveis na fonte geradora e a coleta de resíduos com baixa contaminação;
- Mapear integrantes da cadeia produtiva e de reciclagem de vidro, com a finalidade de identificar novas alternativas de reutilização e reciclagem que promovam localmente o reaproveitamento dos resíduos vítreos, aproximando os seus atores e promovendo agregação de renda à base da cadeia;
- Verificar os segmentos produtivos locais ou regionais que possivelmente absorverão os materiais pós-consumo;
- Identificar e cadastrar depósitos, sucateiros, beneficiadores e catadores que atuam nos municípios da AMREC;
- Fortalecer as relações entre os integrantes da cadeia de produção e reciclagem e integrá-los aos programas municipais de coleta seletiva;
- Estruturar e capacitar permanentemente as organizações de catadores locais;
- Estabelecer políticas de apoio e de valorização aos municípios que promovam a redução da geração por meio de cobrança diferenciada, com redução, isenção e soluções para bitributação, visando o estímulo à redução e reciclagem de modo geral;
- Integrar as unidades locais ao sistema de logística reversa de embalagens objeto do acordo setorial de embalagens no país;

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Presume-se que a existência de sistemas municipais de coleta seletiva é condição essencial, e mínima, para que parte da fração potencialmente reciclável presente nos RSU seja recuperada. Constatou-se que tais sistemas começaram a ser implementados na Região Carbonífera posteriormente à PNRS, pela maioria dos municípios, e depois do prazo previsto para a aprovação dos planos municipais de gestão de resíduos sólidos.

Dos doze municípios que compõem a AMREC, onze possuem este documento, aprovado nos anos de 2010 (Forquilha), 2013 (municípios consorciados ao CIRSURES e Nova Veneza) e 2016 (Criciúma, Içara e Siderópolis), admitindo que o prazo previsto em lei corresponde ao ano de 2012.

Portanto, configuram iniciativas recentes no que se refere ao esforço do poder público municipal em tratar a problemática dos RSU e, conseqüentemente, pouco consolidadas quanto à abrangência e adesão da população à coleta seletiva e consequente reaproveitamento da massa potencialmente reciclável.

Em média, 2,6% do lixo descartado no âmbito da AMREC é desviado dos aterros sanitários e segue para as unidades de triagem locais. No país, do mesmo modo, esse indicador é baixo (2,2%), ou seja, observa-se a manutenção de fluxos lineares de produção, consumo e descarte em ambos os cenários e a impossibilidade de atingir as metas previstas nos planos nacional e municipais de gestão de resíduos, em conformidade com os prazos determinados.

Quanto aos resíduos vítreos, estimou-se um potencial gerador de 4,1 mil t/ano e uma geração *per capita* média de 8,4 kg/hab./ano desse material na Região Carbonífera. De modo geral, o vidro descartado é recolhido misturado aos demais recicláveis pela coleta seletiva e encaminhado para a triagem nas associações e cooperativas, o que acaba aumentando o grau de contaminação. Essa representa a forma mais comum de valorização de vidro pós-consumo pelos municípios da AMREC. Diante do potencial gerador, somente 4% do vidro pós-consumo é recuperado pelos programas municipais de coleta seletiva.

No tocante aos integrantes da cadeia de reciclagem e ao fluxo dos resíduos vítreos descartados na unidade de estudo, foram mapeados 27 potenciais integrantes, dos quais 20 afirmaram trabalhar com esse material. Em relação aos atores mapeados, 25% deles situam-se na base da cadeia, 45% fazem a intermediação (sucateiros e beneficiadores) entre a base e o

topo, e 30% efetivamente incorporam vidro pós-consumo nos seus processos produtivos por meio da refundição, caracterizando-se como recicladores ou transformadores.

As dificuldades apontadas, em especial, pela base da cadeia, possivelmente são reincidentes em organizações de catadores em todo o país. Além das péssimas condições de trabalho, constatadas pela ausência de infraestrutura e recebimento de material de baixa qualidade, que por sua vez traduzem o descaso por parte das prefeituras e a ausência de segregação na fonte geradora, os presidentes das associações e cooperativas reportaram-se à baixa rentabilidade do vidro e aos riscos decorrentes do seu manuseio, como fatores limitantes para recuperação e comercialização desse material.

Na base da cadeia o vidro é escoado a partir de duas rotas: para sucateiros que revendem as embalagens para fins de reutilização, especialmente, a de bebidas (garrafeiros); e para um único sucateiro (caqueiro) que revende o caco sujo a uma vidraria nacional situada no estado de São Paulo. Este, enquanto único intermediador da rota de caco misto que realiza a coleta e a entrega do material, encontra-se no mercado da reciclagem há pouco tempo (2015) e revende o produto com maior valor agregado, dentre todos os entrevistados, sem qualquer prática de beneficiamento.

No caso do vidro plano, em contrapartida, observou-se uma rota bem consolidada, cujo principal intermediário atua na região desde 1997. Fazem parte dela, um sucateiro e dois beneficiadores, fornecedores de insumos para empresas do segmento cerâmico com abrangência no sul de SC, representantes da ponta da cadeia de reciclagem do vidro plano.

Os resíduos de vidro laminado automotivo descartados na cidade de Criciúma também são utilizados como matéria-prima secundária na fabricação de embalagens de vidro. O seu descarte foi estimado em 930 unidades de para-brisas/mês, equivalentes a 13,9 t/mês ou 166,8 t/ano. Os para-brisas substituídos ou danificados são provenientes, em grande parte, de lojas de autopeças e estabelecimentos especializados em vidros automotivos. Os resíduos são coletados por uma empresa do Rio Grande do Sul que os beneficia e revende a uma vidraria multinacional, também situada no RS.

Logo, o reaproveitamento do vidro pós-consumo na Região Carbonífera se dá por duas vias: abastecimento de indústrias cerâmicas em âmbito regional e suprimento da cadeia de fabricação de embalagens em outros estados: SP e RS. No caso das vidrarias, as relações de compra e venda são estabelecidas e centralizadas com poucas indústrias. Em termos de determinação dos preços, notadamente, os recicladores e, sobretudo, os sucateiros ocupam posição de destaque, em relação à base da cadeia de reciclagem de vidro.

Tendo em vista a expressividade do polo cerâmico em âmbito regional e a proposta de incorporação de vidro de para-brisas na fabricação de insumos cerâmicos como alternativa de reaproveitamento local desse resíduo, atestou-se a sua viabilidade técnica de reciclagem por meio da pesquisa experimental. Para cada parâmetro analisado, um percentual considerável de amostras fabricadas a partir de resíduo mostrou-se com desempenho igual ou superior às amostras produzidas exclusivamente com matéria-prima virgem, típicas de formulações usualmente encontradas no mercado. Das 40 amostras fabricadas com cerca de 8% de resíduo, três em particular destacaram-se por apresentar igualmente comportamento otimizado pela adição de resíduo, em relação à dureza e ao ataque químico por hipoclorito de sódio: F12, F22 e F28.

Consequentemente, partindo do pressuposto de que o vidro de embalagem e o plano, incluindo o laminado automotivo, podem ser empregados como substitutos de matérias-primas virgens na fabricação de insumos cerâmicos, a proposta a ser implementada deve ter por finalidade, o reaproveitamento local do vidro pós-consumo no âmbito da AMREC. Tão logo, esse segmento é uma das possibilidades de absorver e promover o fluxo circular desse material localmente.

Para tanto, as unidades de triagem da região poderiam ser estruturadas para beneficiar o vidro de embalagem e escoá-lo para segmentos regionais que o absorvessem ou diante da impossibilidade de execução dessa alternativa, uma usina de beneficiamento de vidro instalada na Região Carbonífera poderia desempenhar tal função.

No tocante à logística reversa e ao acordo setorial como desmembramento da PNRS, pondera-se que a lei não se atém de forma clara ou detalhada ao modo como essas vias podem ser estabelecidas, tampouco quais requisitos devem ser atendidos ou como será fiscalizado o cumprimento da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos. Possivelmente, o acordo não dá conta da complexidade de atores e relações que se estabelecem nos diferentes estágios das cadeias de produção e reciclagem de cada um dos materiais seletivos.

Assim, acredita-se que a modificação do atual cenário de desvalorização dos RSU e subaproveitamento do vidro na Região Carbonífera depende fundamentalmente da reestruturação e assessoria da base da cadeia de reciclagem em termos de capacitação institucional e operacional. Logicamente, a responsabilidade cativa do poder público pela gestão eficiente de RSU e a deliberação de políticas públicas mais específicas no âmbito da logística reversa, as quais delegassem as atribuições de cada agente integrante e incorressem em acordos setoriais por tipo de embalagem, conduziram a resultados mais significativos no

tocante à redução da massa de recicláveis encaminhada para a disposição final e ao incentivo à reciclagem pela iniciativa privada.

Nesse sentido, o Estado poderia contribuir fixando um preço mínimo para comercialização dos recicláveis, conforme sugestão de Lemos (2012), e favorecer financeiramente empresas que utilizassem insumos secundários e se inserissem na cadeia de reciclagem de algum tipo de material por meio de isenção ou redução da carga tributária.

Notadamente, a responsabilidade do Estado nas suas diversas instâncias não exime o cidadão de suas obrigações, uma vez que todo o processo inicia com a segregação na fonte geradora e dele depende para fiscalização e cobrança das metas estipuladas nos planos de gestão de resíduos sólidos ou em quaisquer outras regulamentações.

Por fim, admitindo que a educação ambiental é indispensável para sensibilização em resíduos sólidos e que práticas pontuais, difusas e desarticuladas implicam baixa efetividade dos sistemas de coleta seletiva e de recuperação dos recicláveis pelas unidades de triagem, iniciativas que a contemplem precisam ser pensadas enquanto propostas críticas e transformadoras e mantidas no rol de prioridades da gestão pública municipal de RSU.

Logo, cabe sugerir que as revisões e atualizações futuras dos PMGIRS, que ainda não ocorreram, incluam ações específicas voltadas para o vidro pós-consumo e que caminhem na direção de fluxos circulares de RSU, ou seja, que promovam na prática e não somente no papel uma maior reintegração ambiental dos recicláveis e a inclusão social e produtiva da base da cadeia de reciclagem.

8.1 PERSPECTIVAS PARA TRABALHOS FUTUROS

Diante do tema proposto, dos desmembramentos da pesquisa de campo e experimental e dos resultados obtidos, novos estudos podem ser realizados no sentido de complementá-los ou aprofundá-los:

- Estudar a cadeia de reciclagem de outros materiais recicláveis no âmbito da Região Carbonífera;
- Analisar a estrutura da cadeia de reciclagem de vidro em outras regiões, municípios ou estados brasileiros, para fins de comparação e proposição de melhorias;
- Mapear segmentos produtivos na AMREC que possam se inserir na cadeia de reciclagem de vidro enquanto potenciais recicladores;

- Caracterizar a atuação dos colorifícios existentes na região quanto ao emprego de insumos secundários e à possibilidade de fazê-lo;
- Analisar outras propriedades das amostras fabricadas com resíduo de vidro laminado automotivo, especialmente, das formulações que se destacaram nesse estudo;
- Analisar a viabilidade ambiental e econômica da reciclagem do vidro de para-brisas com aplicação pela indústria de revestimentos cerâmicos;
- Mapear o fluxo de resíduos de vidro plano descartados pelas vidraçarias ou demais estabelecimentos geradores dessa tipologia de resíduo, no âmbito da Região Carbonífera;
- Tentar investigar a rota de reutilização do vidro pós-consumo descartado pelos municípios da AMREC;
- Aprofundar o conhecimento acerca da economia circular e coletar indicadores que deem conta de retratá-la mais fielmente,
- Caracterizar a atuação dos integrantes que se inserem na ponta da cadeia de reciclagem de vidro.

9 REFERÊNCIAS

ABRELPE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2016**. 2016. Disponível em: < <http://abrelpe.org.br/panorama/>>. Acesso em jul. 2017.

ABIVIDRO – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIAS AUTOMÁTICAS DE VIDRO. **Proposta da ABIVIDRO para modelo nacional de reciclagem**. 2011. Disponível em: < <https://docplayer.com.br/12923315-Proposta-da-abividro-para-modelo-nacional-de-reciclagem-maio-de-2011.html>>. Acesso em out. 2017.

_____. **Índice de reciclagem de vidro na União Europeia ultrapassa 70%**. 2014. Disponível em: < <http://www.abividro.org.br/noticias/indice-de-reciclagem-de-vidro-na-uniao-europeia-ultrapassa-70>>. Acesso em ago. 2017.

ABRAMOVAY, R. A economia circular chega ao Brasil. **Valor Econômico**, nov. 2015. Disponível em: < <http://ricardoabramovay.com/a-economia-circular-chega-ao-brasil/>>. Acesso em: mai. 2017.

ABRAVIDRO – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES E PROCESSADORES DE VIDROS PLANOS. **Panorama ABRAVIDRO: o mercado vidreiro em números**. 2018. Disponível em: < <https://pdf.magtab.com/leitor/136/edicao/18702>>. Acesso em: nov. 2018.

ACR+ – ASSOCIATION OF CITIES AND REGIONS FOR RECYCLING; FEVE – EUROPEAN CONTAINER GLASS FEDERATION. **Good practices in collection and close-loop glass recycling in Europe**. Belgium, feb. 2012. Disponível em: < http://www.acrplus.org/images/technical-reports/ACR2012_Good-Practices-in-collection-and-closed-loop-glass-recycling-in-Europe-REPORT_ACR_FEVE_TOC.pdf>. Acesso em: mai. 2018.

AGÊNCIA BRASIL. **IBGE: 50 milhões de brasileiros vivem na linha da pobreza**. 2017. Disponível em: < <http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2017-12/ibge-brasil-tem-14-de-sua-populacao-vivendo-na-linha-de-pobreza>>. Acesso em jan. 2018.

AKERMAN, M. **Indústria do vidro**. Ribeirão Preto, 2014. In: Economia de baixo carbono: avaliação de impactos de restrições e perspectivas tecnológicas. Relatório Final. Disponível em: < http://www.comexresponde.gov.br/portalmDIC/arquivos/dwnl_1427804659.pdf>. Acesso em mai. 2017.

_____. **Introdução ao vidro e sua produção**. Escola do vidro, fev. 2013. Disponível em: < <http://www.certev.ufscar.br/documentos/arquivos/introducao-ao-vidro>>. Acesso em mai. 2017.

_____. **Natureza Estrutura e Propriedades do Vidro**. CETEV (Centro Técnico de Elaboração do Vidro), 2000.

ALVES, J. E. D. **O crescimento deseconômico**. Geoconceição, dez., 2014. Disponível em: < <http://geoconceicao.blogspot.com/2014/12/crescimento-economico-e-seu-limite.html>> Acesso em: out. 2017.

ALVES, O. L; GIMENEZA, I. de F; MAZALI, I. O. Vidros. Cadernos temáticos, **Química Nova na Escola**, fev. 2001. Disponível em: < http://lqes.iqm.unicamp.br/images/pontos_vista_artigo_divulgacao_vidros.pdf>. Acesso em: mai. 2018.

AMORÓS, J.L. **Vidrados para pavimentos e revestimentos cerâmicos**. 2001.

AMREC – ASSOCIAÇÃO DOS MUNICÍPIOS DA REGIÃO CARBONÍFERA.

Municípios associados. 2018. Disponível em: <

<https://www.amrec.com.br/index/municipios-associados/codMapaItem/42512>>. Acesso em abr. 2016.

AMVID – ASSOCIAÇÃO MINEIRA DO COMÉRCIO ATACADISTA, VAREJISTA E DOS BENEFICIADORES DO VIDRO. **Laminado com resina, EVA ou PVB. Qual deles usar?** 2011. Disponível em: < http://amvid.com.br/wp-content/uploads/2010/11/informativo_amvid_9.pdf>. Acesso em out. 2017.

ANDREOLA, F. *et al.* Recycling of industrial wastes in ceramic manufacturing: State of art and glass case studies. **Ceramics International**, v. 42, p. 3333–13338, 2016. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272884216308240>>. Acesso em ago. 2016.

AQUINO, I. F.; CASTILHO JUNIOR, A. B.; PIRES, T. S. L. A organização em rede dos catadores de materiais recicláveis na cadeia produtiva reversa de pós-consumo da região da grande Florianópolis: uma alternativa de agregação de valor. **Gest. Prod.**, São Carlos, v. 16, n. 1, p. 15-24, jan./mar. 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/gp/v16n1/v16n1a03>>. Acesso em: 10 jun. 2017.

ARAÚJO T. D. de; QUEIROZ, A. A. F. A. L. de. **Economia Circular**: breve panorama da produção científica entre 20007 e 2017. In: XIX ENGEMA, dez. 2017. Disponível em: <<http://engemausp.submissao.com.br/19/anais/arquivos/417.pdf>>. Acesso em: mai. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES E PROCESSADORES DE VIDROS PLANOS – ABRAVIDRO. **Panorama ABRAVIDRO**: o mercado vidreiro em número 2016. 2016. Disponível em: <<https://www.magtab.com/leitor/136/edicao/15949>>. Acesso em jul. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10.004**: classificação de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 13.818**: Placas cerâmicas para revestimento – especificações e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 1997.

AZEVEDO, J. L. de. A economia circular aplicada no Brasil: uma análise a partir dos instrumentos legais existentes para a logística reversa. In: XI CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO. ago. 2015. **Anais Eletrônicos...** Disponível em: <http://www.inovarse.org/sites/default/files/T_15_036M.pdf>. Acesso em abr. 2016.

AUTOGLASS. **Reciclagem do vidro automotivo**, ago. 2013. Disponível em: <<https://www.autoglass.com.br/noticias/>>. Acesso em: mai. 2017.

BACK, A. A. Plano de implantação e operação de uma associação de catadores de materiais recicláveis no município de Forquilha, SC. 2011. 110 f. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Graduação em Engenharia Ambiental) – Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2011.

BALNEÁRIO RINCÃO. **Ecopontos recebem mais de 6,5 toneladas de recicláveis em janeiro**. 2016. Disponível em: <<https://www.balneariorincao.sc.gov.br/noticias/index/ver/codMapaItem/4337/codNoticia/350494>>. Acesso em: mai. 2018.

BARBIERI, J. C. **Gestão ambiental empresarial**: conceitos, modelos e instrumentos. São Paulo: Saraiva, 2006.

BARROS, C; VIANA, T. **Apostila de vidros: materiais de construção, edificações**, out. 2010. Disponível em: < <https://edificacoes.files.wordpress.com/2011/04/apo-vidros-completa-publicac3a7c3a3o.pdf>>. Acesso em: mai. 2017.

BARROS, R. T. de V. **Elementos de gestão de resíduos sólidos**. Belo Horizonte, MG: Tessitura, 2012.

BRASIL. **Anuário Estatístico do Setor de Transformação de Não Metálicos**. Ministério de Minas e Energia, 2018. Disponível em: < <http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1732813/ANU%C3%81RIO+N%C3%83O-METALICOS+2018+21.08.2018.pdf/62490d76-b923-4592-98a7-10e2bd98279b>>. Acesso em: out. 2018.

_____. Lei n. 12.305 de 2 de agosto de 2010. **Instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>>. Acesso em: mar. 2016.

_____. Ministério do Trabalho e Emprego. **Classificação Brasileira de Ocupações CBO**. Catador de Material Reciclável: Trabalhadores da coleta e seleção de material reciclável, 2002.

_____. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. 2012. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/253/publicacao/253_publicacao02022012041757.pdf>. Acesso em: jun. 2017.

CALDERONI, S. **Os bilhões perdidos no lixo**. 3ª ed. São Paulo: Humanistas, 1999.

CALLISTER Jr., W. D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

CANAL IÇARA. **Içara terá coleta seletiva de lixo a partir de outubro**. 2017. Disponível em: < <https://www.canalicara.com/cotidiano/icara-tera-coleta-seletiva-de-lixo-a-partir-de-outubro-37394.html>>. Acesso em: ago. 2018.

CAVALCANTI, C. Uma tentativa de caracterização da economia ecológica. **Ambiente & Sociedade**, v. 7, n. 1, p.149-156, jan./jun. 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/asoc/v7n1/23541.pdf> Acesso em mai. 2010.

CEMPRE – COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA A RECICLAGEM. **CEMPRE review 2015**. Disponível em: <[file:///C:/Users/user/Downloads/o_1abo5n62k1ra0166j1hls1fa019eca%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/user/Downloads/o_1abo5n62k1ra0166j1hls1fa019eca%20(3).pdf)>. Acesso em mai. 2017.

_____. **CEMPRE review 2013**. Disponível em: <[file:///C:/Users/user/Downloads/o_195a6bo8q14sdk611n6o1su1q0la%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/user/Downloads/o_195a6bo8q14sdk611n6o1su1q0la%20(3).pdf)>. Acesso em mai. 2013.

_____. **Ciclossoft 2016**. Disponível em: <<http://cempre.org.br/ciclossoft/id/8>>. Acesso em mai. 2017.

_____. **Mercado – preço do material reciclável**. 2018. Disponível em: < <http://cempre.org.br/servico/mercado>>. Acesso em jul. 2018.

CHARLES, A. S. *et al.* Revisiting the Limits to Growth After Peak Oil. **American Scientist**, v. 97, mai./jun. 2009. Disponível em: < <https://www.esf.edu/efb/hall/2009-05Hall0327.pdf>>. Acesso em: mai. 2018.

CIRSURES – CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DA REGIÃO SUL. **Plano Intermunicipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos dos municípios consorciados ao CIRSURES**. 2013. Disponível em: <http://www.cirsures.sc.gov.br/institucional/documentos/download/pdf/dbb3d789ee6f900851b321f023dccc34/plano-intermunicipal-de-gestao-integrada-de-residuos-solidos_2013-05-07.pdf>. Acesso em mai. 2017.

_____. **Relatório de operação do aterro sanitário**. 2016. Disponível em: <http://www.cirsures.sc.gov.br/biblioteca/relatorios/download/pdf/a7d46306ecb15176fa18a18003df0130/relatorio-fatma-abril-de-2016_2016-05-20.pdf>. Acesso em mai. 2017.

_____. **Relatório de operação do aterro sanitário**. 2017. Disponível em: <http://www.cirsures.sc.gov.br/biblioteca/relatorios/download/pdf/a7d46306ecb15176fa18a18003df0130/relatorio-fatma-abril-de-2016_2016-05-20.pdf>. Acesso em nov. 2017.

_____. **Relatório de operação do aterro sanitário**. 2018. Disponível em: <http://www.cirsures.sc.gov.br/biblioteca/relatorios/download/pdf/a7d46306ecb15176fa18a18003df0130/relatorio-fatma-abril-de-2016_2016-05-20.pdf>. Acesso em ago. 2018.

COMISSÃO EUROPEIA. **Economia circular**: novas regras colocarão a UE na vanguarda mundial a nível de gestão e reciclagem de resíduos. Comunicado de imprensa, Bruxelas, mai. 2018. Disponível em: <file:///C:/Users/user/Downloads/IP-18-3846_PT.pdf>. Acesso em out. 2018

CMMAD – COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Nosso futuro comum**. 2a ed. Tradução de Our common future. 1a ed. 1988.

CNI – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Circular Economy: opportunities and challenges for the Brazilian Industry**. Brasília: CNI, 2018. Disponível em: <https://bucket-gw-cni-static-cms-si.s3.amazonaws.com/media/filer_public/df/47/df47cc04-59e3-4994-9f1f-23af9998ab67/web_economia_circular_2018_ingles_final.pdf>. Acesso em jan. 2018.

_____. **Estratégias corporativas de baixo carbono**: setor do vidro. Brasília: CNI, 2016. Disponível em: <http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_18/2016/06/09/11177/Estrategias_corporativas_setor_vidro_web.pdf>. Acesso em jul. 2018.

_____. **Estudo técnico – gestão municipal de resíduos sólidos**. 2015. Disponível em: <https://www.cnm.org.br/cms/biblioteca_antiga/Diagn%C3%B3stico%20da%20Gest%C3%A3o%20Municipal%20de%20Res%C3%ADduos%20S%C3%B3lidos%202015.pdf>. Acesso em abr. 2018.

_____. **Nota técnica n. 15/2016**. Disponível em: <https://www.cnm.org.br/cms/biblioteca/NT_15_2016_Vantagens_Licenciamento_Municipal_Ambiental.pdf>. Acesso em abr. 2018.

_____. **Pesquisa sobre gestão municipal de resíduos sólidos**. 2017. Disponível em: <<https://www.cnm.org.br/cms/biblioteca/Pesquisa%20Final%20Gest%C3%A3o%20Municipal%20de%20Res%C3%ADduos%20S%C3%B3lidos%202017.pdf>>. Acesso em abr. 2018.

COLETA SELETIVA SOLIDÁRIA. **Apresentação**. 2018. Disponível em: <<http://www.unesc.net/portal/capa/index/680/10848/>>. Acesso em: mai. 2017.

_____. **Home**. 2018. Disponível em: <<https://coletasolidaria.wordpress.com/>>. Acesso em: mai. 2017.

COMCAP – COMPANHIA MELHORAMENTOS DA CAPITAL. **Projeto Coleta seletiva de vidro**. 2013. Disponível em: <http://portal.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/pdf/10_12_2014_8.05.39.41a97d90cda7414db617b98ef5783514.pdf>. Acesso em: out. 2016.

CONCEIÇÃO, M. M. **Os empresários do lixo: um paradoxo da modernidade: análise interdisciplinar das cooperativas de reciclagem de lixo**. 2. ed. Campinas, SP: Átomo, 2005.

CONCEIÇÃO, R.D. P. *et al.* A cadeia de reciclagem de pet pós-consumo e as definições de suas etapas: um estudo de caso no Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais** (online). Zeppelini Editorial e Comunicação, n. 39, p. 80-96, mar. 2016. Disponível em: <http://abes-dn.org.br/publicacoes/rbciamb/Ed39/RBCIAMB_n39_80-96.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2017.

CONSONI, A. J; PERES, C. S; CASTRO, A. P. de. Origem e Composição do Lixo. In: D'ALMEIDA, M. L. O; VILHENA, A. **Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado**. 2. ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), e Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE), 2000. p. 29-40.

CRICIÚMA. **Governo lança coleta seletiva solidária em Criciúma**. 2011. Disponível em: <http://www.criciuma.sc.gov.br/site/noticia/governo_lanca_coleta_seletiva_solidaria_em_criciuma-5591>. Acesso em mai. 2017.

_____. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Criciúma**. 2016. Disponível em: <https://www.camaracriciuma.sc.gov.br/upload/2016/10/18/PE048-16%20PMGIRS%20META_3_Aspectos_Gerais_do_Planejamento_das_Acoes_Criciuma.pdf>. Acesso em abr. 2017.

DAL BÓ, M. *et al.* Efeito das propriedades dos esmaltes e engobes sobre a curvatura de revestimentos cerâmicos. **Cerâmica**, n. 58, 2012, p. 118-125. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ce/v58n345/19.pdf>>. Acesso em jun. 2016.

DAL BÓ, M; BARBETTA, P. A; HOTZA, D. Utilização de resíduos da indústria de revestimentos cerâmicos na fabricação de refratários triaxiais. **Cerâmica Industrial**, v. 12, n. ½, jan./abr. 2007. Disponível em: <<http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v12n01/v12n1a08.pdf>>. Acesso em ago. 2016.

DAL BÓ, M; SILVA, L; OLIVEIRA, V. Fabricação de vetrosas com a utilização de resíduos de vidro plano e vidro de bulbo de lâmpadas. **Cerâmica Industrial**, v. 14, n. 4, jul./ago. 2009. Disponível em: <<http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v14n4/v14n4a05.pdf>>. Acesso em ago. 2016.

DALY, H. E. Crescimento sustentável? Não, obrigado. **Ambiente & Sociedade** (online), v. 7, n. 2, p. 197-202, 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/asoc/v7n2/24695.pdf>>. Acesso em: nov. 2017.

DAMÁSIO, J. **Impactos socioeconômicos e ambientais do trabalho dos catadores na cadeia da reciclagem**. Brasília: MDS/Pangea, 2010.

DEMAJOROVIC, J; LIMA, M. **Cadeia de reciclagem: um olhar para os catadores**. São Paulo: Editora SENAC São Paulo; São Paulo: Edições SESC SP, 2013.

DIAS, G. F. **Ecopercepção: um resumo didático dos desafios socioambientais**. São Paulo: Gaia, 2004.

DIAS, G. G.; CRUZ, T. M. de S. **Plano de gerenciamento integrado de resíduos vítreos – PGRIV**. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente: Fundação Israel Pinheiro, 2009. Disponível em: < <http://www.israelpinheiro.org.br/wp-content/uploads/2016/09/Plano-de-Gerenciamento-Integrado-de-Res%C3%ADduos-V%C3%ADtreos.pdf>>. Acesso em out. 2017.

DIAS, V. S; MORAIS, C. R. da S; SALES, J. de L. S. Capacitação das catadoras do cavi no desenvolvimento da tecnologia de reciclagem de vidros. In: PEREIRA, B. C. J; GOES, F. L. (Org.). **Catadores de materiais recicláveis: um encontro nacional**. Rio de Janeiro: IPEA, 2016. Cap. 19, p. 407-438. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=27461>. Acesso em jun. 2018.

DUARTE, M. **Incêndio atinge Cooperativa de Catadores de Materiais Recicláveis**. In: **Jornalismo SATC**, ago. 2018. Disponível em: < <http://www.jornalismo.satc.edu.br/incendio-atinge-cooperativa-de-catadores-de-materiais-reciclaveis>>. Acesso em: nov. 2018.

EMF – ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Towards the circular economy: economic and business rationale for an accelerated transition**. EFM: 2012. Disponível em: < <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Elle-MacArthur-Foundation-Towards-the-Circular-Economy-vol.1.pdf>>. Acesso em: mai. 2018.

_____. **The circular economy opportunity for urban & industrial innovation in China**. EFM: 2018. Disponível em: < https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/The-circular-economy-opportunity-for-urban-industrial-innovation-in-China_19-9-18_1.pdf>. Acesso em mai. 2018.

EPPLER, R. A.; EPPLER D. R. **Glazes and glass coatings**. 1st edition. Ohio, USA: The American Ceramic Society, 2000.

EPPLER, R.A. Selecionando matérias-primas para esmaltes. **Cerâmica Industrial**, v. 7, n. 6, p. 14-18, 2002.

ERKMAN, S; FRANCIS C. RAMASWAMY, R. **Industrial Ecology: an agenda for the long-term evolution of the industrial system “cahier de propositions” of the industrial ecology workshop**. 2001. Disponível em: < http://www.alliance21.org/2003/IMG/pdf/final ecolindus_en.pdf>. Acesso em mai. 2017.

FERNANDES, M. H. F. V. **Introdução à ciência e tecnologia do vidro**. Lisboa: Universidade Aberta, 1999.

FERREIRA, F. **Coleta seletiva: catadores irregulares voltam a ser alvo de denúncias em Forquilha**. 2016. Disponível em: < <https://www.forquilha.com.br/coleta-seletiva-catadores-irregulares-voltam-ser-alvo-denuncias-forquilha/>>. Acesso em mai. 2018.

FEVE – EUROPEAN CONTAINER GLASS FEDERATION. **EU Glass Packaging Closed Loop Recycling Steady at 74 percent**. Brussels, apr. 2018. Disponível em: < <https://feve.org/about-glass/statistics/>>. Acesso em nov. 2018.

FIESC – FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SANTA CATARINA. **Santa Catarina em dados**. Unidade de Política Econômica e Industrial. Florianópolis, FIESC, 2015. Disponível em: <https://fiesc.com.br/sites/default/files/inline-files/sc_em_dados_site_2015.pdf>. Acesso em: jun. 2017.

FIGUEIREDO, F. F. Panorama dos resíduos sólidos brasileiros. **Revista bibliográfica y ciencias sociales**, Universidad de Barcelona, v. XVI n. 928, jun. 2011. Disponível em: <<http://www.ub.edu/geocrit/b3w-928.htm>>. Acesso em: mar. 2018.

FORQUILHINHA. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Forquilha, SC**. 2010.

FRANCESCHI, F. R. A. *et al.* Panorama dos resíduos sólidos no Brasil: uma discussão sobre a evolução dos dados no período 2003-2014. **Revista DAE**, 2017. Disponível em: <http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_206_n_1672.pdf>. Acesso em: mai. 2018.

FRANKLIN-JOHNSON; FIGGE, F; CANNING, L. Resource duration as a managerial indicator for Circular Economy performance. **Journal of Cleaner Production**, n. 133, 2016. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616304784>>. Acesso em out. 2016.

FREIRE, L. L. R. A indústria de vidros planos. **Caderno Setorial ETENE**, ano 1, n. 3, nov. 2016. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/documents/80223/1218176/2_vidros.pdf/d8f77da8-9f00-7968-f918-9068e4fc560e>. Acesso em mai. 2018.

GABRIELA-CORNELIA, P; IUDITH, I; ALEXANDRU, B. New theoretical and practical approaches of implementing the circular economy for the preservation of natural resources. **Procedia Economics and Finance**, n. 22. 2015. Disponível em: <http://ac.els-cdn.com/S221256711500235X/1-s2.0-S221256711500235X-main.pdf?tid=90796630-aced-11e6-a462-00000aab0f02&acdnat=1479404881_5b4b799f6bb4848f65693e7f03fd7f90>. Acesso em mai. 2017.

GASI, T. M. T; FERREIRA, E. Produção mais limpa. In: VILELA Jr. A; DEMAJOROVIC, J. (Org.). **Gestão ambiental: desafios e perspectivas para a organizações**. São Paulo: Editora SENAC, 2006. P. 45-82.

GHISELLINI, P; CIALANI, C; ULGIATI, S. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. **Journal of Cleaner Production**, n. 114, feb. 2016. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615012287>>. Acesso em out. 2017.

GIBIM, M. **Controles no caco externo**. In: 22º Encontro Técnico da ABIVIDRO, Verallia/CETEV, 2014. Disponível em: <<https://slideplayer.com.br/slide/1853235/>>. Acesso em out. 2017.

GM – GENERAL MOTORS. Vidros. **Verdade Genuína**, ano IV, n. 32, fev. 2012. Disponível em: <http://www.novoservicochevrolet.com.br/template-distribuidores/pdf/GM_FEV12.pdf>. Acesso em mai. 2016.

GONÇALVES, P. **A reciclagem integradora dos aspectos ambientais, sociais e econômicos**. Rio de Janeiro: DP&A: Fase, 2003.

GOULART, E. P. **Processamento do lixo: reciclagem de vidro**. In: Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado. 3. ed. CEMPRES: São Paulo, 2010. Cap. 4, p. 149-159.

GOULARTI FILHO, A. **Formação econômica de Santa Catarina**. Florianópolis: Cidade Futura, 2002.

GUADAGNIN, M. R. *et al.* Cadeia cinza da reciclagem: mapeamento da rota de materiais recicláveis pós-consumo em Criciúma e região. In: LADWIG, Nilzo Ivo; SCHWALM, Hugo (Org.) **Planejamento e gestão territorial: a sustentabilidade dos ecossistemas urbanos**. Criciúma, SC: EDIUNESC, 2018. Cap. 10.

_____. Inclusão de catadores em programas de gerenciamento integrado de resíduos sólidos no sul catarinense: ACAFOR um caminho e exemplo possível. **Revista Tecnologia e Ambiente**, v. 20, 2014. Disponível em: <<http://periodicos.unesc.net/tecoambiente/article/viewFile/1564/1480>>. Acesso em: jan. 2018.

HAUPT, M; VANDENBO, C; HELLWEG, S. Do we have the right performance indicators for the circular economy? **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. 3, 2017. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/jiec.12506>>. Acesso em: mai. 2018.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Panorama: economia**. 2015. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em abr. 2017.

_____. **Panorama: território**. 2016. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em abr. 2017.

_____. **Panorama: população estimada**. 2017. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em abr. 2017.

_____. **Perfil dos municípios brasileiros**. Pesquisa de Informações Básicas Municipais – MUNIC. 2017. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101595.pdf>>. Acesso em jun. 2018.

_____. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em abr. 2017.

_____. **Sinopse do censo demográfico: situação domiciliar**. 2010. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em abr. 2017.

IÇARA. “**Recicla Içara**” recicla duas toneladas de materiais na primeira semana. 2017. Disponível em: <<http://www.icara.sc.gov.br/noticias/index/ver/codMapaItem/5702/codNoticia/455919>>. Acesso em: mai. 2018.

_____. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Içara**. 2016. **Industrial**, v. 7, n. 6, p. 14-18, 2002.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Diagnóstico sobre catadores de resíduos sólidos**. Relatório de pesquisa. Brasília, 2012. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=15435>. Acesso em mai. 2016.

_____. **Situação social das catadoras e dos catadores de material reutilizável e reciclável**. Brasil, 2013. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/situacao_social/131219_relatorio_situacao_social_mat_reciclavel_brasil.pdf>. Acesso em: mai. 2017.

JACOBI, P. R. Desafios e reflexões sobre resíduos sólidos nas cidades brasileiras. In: SANTOS, M. C. L; GONÇALVES-DIAS, S. L. F. **Resíduos sólidos urbanos e seus impactos socioambientais**. Instituto de Energia e Ambiente – Universidade de São Paulo (IEE-USP), São Paulo, 82 p., 2012. p. 31-34.

JARDIM, N. S. *et al.* Gerenciamento Integrado de Lixo Municipal. In: D'ALMEIDA, Maria Luiza Otero de; VILHENA, André. **Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), e Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE), 2000. p. 3-25.

JOUSTRA, D. J; EIJK, F. V. Economia circular: do conceito à transição. In: **Economia Circular Holanda – Brasil: da teoria à prática**. 1. ed. Rio de Janeiro: Exchange 4 Change Brasil, 2017.

KLIGERMAN, D. C. A Era da Reciclagem X A Era do Desperdício. In: SISINNO, Cristiana Lucia Silveira; OLIVEIRA, Rosália Maria de (Org.). **Resíduos Sólidos, Ambiente e Saúde**. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2000. p. 99-110.

LEFF, E. **Saber ambiental: sustentabilidade, racionalidade, complexidade, pode**. Petrópolis, RJ: Vozes, 2001.

LEITE, P. R. **Logística reversa: meio ambiente e competitividade**. São Paulo: Prentice Hall, 2003.

LEMOS, E. Diagnóstico da cadeia de reciclagem de embalagem de vidro em Santa Catarina. 2012. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/125091/TCC%20CADEIA%20DE%20RECYCLAGEM%20DAS%20EMBALAGENS%20DE%20VIDRO%20SC%20-%20ELLEN%20LEMOS.pdf?sequence=1>>. Acesso em jun. 2017.

LETT, L. A. Las amenazas globales, el reciclaje de residuos y el concepto de economia circular. **Rev Argent Microbiol.**, n. 46, v. 1, 2014. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/pdf/2130/213030865001.pdf>>. Acesso em out. 2017.

LIMA, J. D. de. **Gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil**. Campina Grande – PB, ABES, 2001.

LOPES, R. P; SANTO, E. L; GALATTO, S. L. Mineração de carvão em Santa Catarina: geologia, geoquímica e impactos ambientais. In: In: MILIOLI, G; SANTOS, R. dos; CITADINI-ZANETTE, V. **Mineração de carvão, meio ambiente e desenvolvimento sustentável no sul de Santa Catarina: uma abordagem interdisciplinar**. Curitiba: Juruá, p. 51-70. 2009.

LUZ, B; ECHEVENGUÁ, C. Gestão de ciclo de vida como diferencial competitivo para as empresas. In: **Gestão Empresarial para a Sustentabilidade em tempos de mudança climática**. Editora Manole, 2015.

MANGILI, G. S. Análise dos indicadores de qualidade ambiental na operação do aterro sanitário do município de Içara, SC. 2006. 15f. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Graduação em Engenharia Ambiental) – UNESC, Criciúma. 2006.

MARCHIORI, A. C. Da fabricação à logística reversa do vidro automotivo: um mapeamento dos processos e seus impactos ambientais. 2017. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Graduação em Administração) – Universidade Feevale, Novo Hamburgo.

MARTINHO, M. da G. M; GONÇALVES, M. G. P. **Gestão de Resíduos**. Universidade Aberta, 2000.

MARTINS, A. X. B. **Estudo numérico do ensaio de dureza com indentador Knoop**. 2012. Dissertação (Mestre em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra.

MEADWOS, D. **Limites do crescimento**: um relatório para o projeto do clube de Roma sobre o dilema da humanidade. São Paulo: Perspectiva, 1973.

MELCHIADES, F. G. Estudo comparativo entre as tecnologias úmida e via seca para a preparação de massas de porcelanatos. 2011. (Tese) – Universidade Federal de São Carlos. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/684/3927.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: mai. 2016

MELCHIADES, F. G. *et al.* Formulação de fritas cerâmicas com auxílio da técnica de planejamento estatístico de experimentos. **Cerâmica Industrial**, n. 14, v. 3, mai./jun. 2009. Disponível em: <<http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v14n3/v14n3a04.pdf>>. Acesso em mai. 2016.

MENEZES, R. R; NEVES, G. de A; FERREIRA, H. C. O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 2, p. 303-313, 2002. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v6n2/v6n2a20.pdf>>. Acesso em ago. 2016.

MILIOLI, G. *et al.* **O Sul do Estado de Santa Catarina**. 2002. Disponível em: <<http://vivimarc.sites.uol.com.br/aregiao.htm>>. Acesso em jul. 2011.

MILIOLI, G. **Mineração de carvão e desenvolvimento sustentado no sul de Santa Catarina: estudo exploratório de percepção, valores e atitudes do meio ambiente num baixo do município de Criciúma**. Criciúma, SC: Editora Luana, 1995.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Planilha de cálculo para taxa de resíduos sólidos**. 2012. Disponível em: <www.mma.gov.br/images/arquivo/80058/Exemplo-Planilha-Calculo-TAXA-RSU.xls>. Acesso em: mai. 2017.

MOMBACH, V. L. *et al.* **Produção de fritas cerâmicas a partir do vidro de lâmpadas fluorescentes**. In: 17º CBECIMat – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 2006, Foz do Iguaçu, PR, Brasil. **Anais Eletrônicos...** Disponível em: <<https://www.ipen.br/biblioteca/2006/cbecimat/12543.pdf>>. Acesso em ago. 2016.

MONTANO, P. F; BASTOS, H. B. **A indústria de vidro plano: conjuntura atual e perspectivas**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 38, set. 2013. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/4801/1/BS%2038_A%20industria%20de%20vidro%20plano_P.pdf>. Acesso em mai. 2016.

MONTEIRO, J. H. P. *et al.* **Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**, Rio de Janeiro: IBAM, 2001. 204 p.

MONTIBELLER-FILHO, G. Análise econômica do empobrecimento socioambiental da região carbonífera do estado de Santa Catarina. In: MILIOLI, G; SANTOS, R. dos; CITADINI-ZANETTE, V. **Mineração de carvão, meio ambiente e desenvolvimento sustentável no sul de Santa Catarina: uma abordagem interdisciplinar**. Curitiba: Juruá, p. 239-258. 2009.

MONTIBELLER-FILHO, G. **O mito do desenvolvimento sustentável: meio ambiente e custos sociais no moderno sistema produtor de mercadorias**. X. ed. rev. Florianópolis: Ed. da UFSC: 2008.

MORIN, E; KERN, A. B. **Terra Pátria**. Porto Alegre: Sulina, 1995.

NAIME, R. **Diagnóstico ambiental e sistemas de gestão ambiental**. Novo Hamburgo, RS: FEVALE, 2005.

NANDI, V. de S. *et al.* Adição de Vidro Reciclado de Lâmpadas na Fabricação de Cerâmica Vermelha. **Cerâmica Industrial**, v. 19, n. 5, set./dez. 2014. Disponível em: <<http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v19n5/v19n5a05.pdf>>. Acesso em ago. 2017.

NASCIMENTO, L. F; LEMOS, A. D. C; MELLO, M. C. **Gestão Socioambiental Estratégica**. Porto Alegre: Bookman, 2008.

NAVARRO, J. . F. **El Vidrio**. 3. ed. Consejo Superior de Investigaciones Científicas Sociedad Española de Cerámica y Vidrio. Madrid, 2003.

NELLES, M; GRUNES, J; MORSCHECK, G. Waste management in Germany – development to a sustainable circular economy? **Procedia Environmental Sciences**, n. 35, 2016, p. 6-14. Disponível em: <https://ac.els-cdn.com/S1878029616300901/1-s2.0-S1878029616300901-main.pdf?_tid=2ebea5ae-694f-4928-899e-94f38e3d6504&acdnat=1549303711_cdf13701ab3deb4f8eb9556eb231c708>. Acesso em: mai. 2017.

NOVA VENEZA. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Nova Veneza**. 2013.

NUNES, L. **Projeto coleta seletiva solidária está mediando o diálogo entre a gestão pública e os catadores de materiais recicláveis em Criciúma, Santa Catarina**. 2015. Disponível em: <<https://coletasolidaria.wordpress.com/2015/10/14/projeto-coleta-seletiva-solidaria-esta-mediando-o-dialogo-entre-a-gestao-publica-e-os-catadores-de-materiais-reciclaveis-em-criciuma-santa-catarina/>>. Acesso em: mai. 2018.

OLIVEIRA, M. C; MAGNANA, M. F. B. **Guia técnico ambiental da indústria de cerâmicas branca e de revestimentos**. São Paulo: CETESB, 2006. Disponível em: <<http://www.redeaplmineral.org.br/biblioteca/ceramica-de-revestimento/ceramica.pdf>>. Acesso em jul. 2016.

PALERMO, G. C; GOMES, A. P. P. **Tratamento e gestão de resíduos**. Rio de Janeiro: UVA, 2017. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/318859013_Tratamento_e_Gestao_de_Residuos_Waste_Treatment_and_Management>. Acesso em: jun. 2018.

PEREIRA NETO, T. J. Gerenciamento de Resíduos Sólidos em Municípios de Pequeno Porte. **Ciência & Ambiente**, Universidade Federal de Santa Maria, RS: UFSM, v. 1, n. 18, p. 41-52, jan./jun. 1999.

PHILIPPI Jr. A; AGUIAR. **Saneamento, saúde e meio ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável**. Barueri, SP: Manole, 2005.

PINHEL, J. R. O catador de materiais recicláveis. In: PINHEL, J. R. (Org.). **Do lixo à cidadania: guia para formação de cooperativas de catadores de materiais recicláveis**. Editora Peirópolis: IPESA, 2013.

PINTO-COELHO, R. M. **Reciclagem e desenvolvimento sustentável no Brasil**. Belo Horizonte: Recóleo Coleta de Óleos, 2009. Disponível em: <https://www.academia.edu/9206128/Reciclagem_e_Desenvolvimento_Sustent%C3%A1vel_no_Brasil_Rec%C3%B3leo_Coleta_e_Reciclagem_de_%C3%93leos_Vegetais_Editora_Ltd_a_Belo_Horizonte_MG_ISBN_978-85-61502-01-0_340_pgs>. Acesso em jun. 2016.

PNUD – PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. **Ranking IDHM Municípios 2010**. Disponível em: <<http://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/idh0/rankings/idhm-municipios-2010.html>>. Acesso em mai. 2017.

- PORTAL ENGEPLUS. **Içara se prepara para iniciar coleta seletiva de lixo.** 2017. Disponível em: < <http://www.engeplus.com.br/noticia/geral/2017/icara-se-prepara-para-iniciar-coleta-seletiva-de-lixo>>. Acesso em: jun. 2018.
- REMY, A; GAY, M; GONTHIER, R. *Materiais*. São Paulo: Hemus, 2002.
- RIBEIRO, F. de M; KRUGLIANSKAS, I. **A economia circular no contexto europeu: conceito e potenciais de contribuição na modernização das políticas de resíduos sólidos.** In: Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente, 2014. Disponível em: <<http://www.engema.org.br/XVIENGEMA/473.pdf>>. Acesso em: jun. 2018.
- ROSA, S. E. S. da; COSENZA, J. P; BARROSO, D. V. **Considerações sobre a indústria do vidro no Brasil.** BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 26, p. 101-138, 2007. Disponível em: <<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/2666>>. Acesso em ago. 2016.
- ROTH, B. W; ISAIA, E. M. B. I; ISAIA, T. Destinação final dos resíduos sólidos urbanos. **Ciência & Ambiente**. Santa Maria, RS: UFSM n.18, p. 25-40, jan./jun. 1999.
- RUTKOWSKI, J. E.; VARELLA, C. V. S.; CAMPOS, L. S. **A reciclagem de resíduos sólidos urbanos no Brasil: desafios e oportunidades para ampliação.** In: SEMINÁRIO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 11, 2014, Brasília. Anais... Brasília: Abes: Câmara Temática de Resíduos Sólidos da Abes, 2014. p. 1-15. Disponível em:< http://sustentar.org.br/site/lib/textEditor/uploads/files/projeto_Cadeia_produtiva/Reciclagem_RSU_no_Brasil_ABES_2014.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2017.
- SACHS, I. **Estratégias de transição para o século XXI.** In: Rumo à ecossocioeconomia: teoria e prática do desenvolvimento. São Paulo: Cortez, 2007. p. 174-200.
- SÁNCHEZ, E. Matérias-primas para a fabricação de fritas e esmaltes cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, v. 3/4, n. p. 32-40, 1997. Disponível em: < <http://s3.amazonaws.com/host-article-assets/ci/587656fd7f8c9d6e028b45ed/fulltext.pdf>>. Acesso em: mai. 2018.
- SANTA CATARINA. **Caderno de indicadores – 2016.** Santa Catarina e suas regiões. Secretaria do Estado da Fazenda. Florianópolis, 2016. Disponível em: < http://www.sef.sc.gov.br/arquivos_portal/relatorios/11/Caderno_de_indicadores_2016_Rev_isao_final_junho_0.pdf>. Acesso em mai. 2017.
- _____. **Plano diretor para a gestão de tratamento de resíduos sólidos urbanos do estado de Santa Catarina.** 2014.
- SANTOS, M. C. L. *et al.* Frames de ação coletiva: uma análise da organização do MNCR. In: SCHERER-WARREN, I; LUCHMANN, Lígia H. H. **Movimentos sociais e participação.** Florianópolis: Editora UFSC, 2011.
- SAVIATO, D. **A coleta seletiva: a sua invisibilidade e precariedade.** 2017. Disponível em: < <http://www.engeplus.com.br/noticia/ambiente/2017/a-coleta-seletiva-a-sua-invisibilidade-e-precariedade>>. Acesso em: jun. 2018.
- SCHIETTEKATTE, N; BAKKER, E. Uma Holanda circular em 2050. In: **Economia Circular Holanda – Brasil: da teoria à prática.** 1. ed. Rio de Janeiro: Exchange 4 Change Brasil, 2017.
- SCHMITZ, A. *et al.* Energy consumption and CO2 emissions of the European glass industry. **ENERGY POLICY**, v. 39, n. 1, 2011. Disponível em: < <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC62619>>. Acesso em: mai. 2018.

SDS – SECRETARIA DE ESTADO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO SUSTENTÁVEL. **Municípios habilitados para o exercício de licenciamento de atividades com impacto ambiental local.** Conselho Estadual de Meio Ambiente. 2018. Disponível em: <<http://www.sds.sc.gov.br/index.php/biblioteca/consema/municipios-habilitados/347-municipios-habilitador-por-ordem-de-tipologia-de-licenciamento/file>>. Acesso em ago. 2018.

SEBRAE – SERVIÇO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. **Santa Catarina em números.** Florianópolis: SEBRAE/SC, 2013. Disponível em: <<http://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Anexos/Relatorio%20Estadual.pdf>>. Acesso em abr. 2017.

SERPA, E. C. S. N. Obtenção de fritas cerâmicas a partir de resíduo refratário proveniente do setor metálico. 2007. 81 f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, Santa Catarina. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/90606/242643.pdf?sequence=1>>. Acesso em mai. 2016.

SILVA, S. P. **A organização coletiva de catadores de material reciclável no Brasil: dilemas e potencialidades sob a ótica da economia solidária.** IPEA: 2017. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/7413/1/td_2268.PDF>. Acesso em jun. 2017.

SILVA, S; GOES, F; ALVAREZ, A. **Situação social das catadoras e dos catadores de material reciclável.** Brasília: IPEA, 2013.

SIMÕES, L. J. Estudo da aplicação de resíduo de vidro laminado na produção de concreto. 2013. 142 f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória. Disponível em: <http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese_7343_Lorena%20Jodoni%20Sim%F5es.pdf>. Acesso em mai. 2016.

SINIR – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE A GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS. **Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos.** Disponível em: <<http://sinir.gov.br/levantamento-de-informacoes-das-unidades-da-federacao/levantamentos-anteriores>>. Acesso em: ago. 2018.

SNIS – SISTEMA NACIONAL SOBRE SANEAMENTO. Diagnóstico anual de resíduos sólidos. 2016. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-residuos-solidos>>. Acesso em mai. 2016.

SMITH, W. F; HASHEMI, J. **Fundamentos de engenharia e ciência dos materiais.** 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2012.

STRAUCH, M; ALBUQUERQUE, P. **Resíduos: como lidar com recursos naturais.** São Leopoldo, RS: Oikos, UPAN, 2008.

TESTA, M. *et al.* Long-Term Sustainability from the Perspective of Cullet Recycling in the Container Glass Industry: Evidence from Italy. **Sustainability**, n. 9, 2017. Disponível em: <[file:///C:/Users/user/Downloads/sustainability-09-01752%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/user/Downloads/sustainability-09-01752%20(1).pdf)>. Acesso em: mai. 2018.

VALERA, T. S. *et al.* Reaproveitamento do resíduo de lapidação de vidros como carga em polímero de engenharia. In: 44º CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, São Pedro, São Paulo, 2000. **Anais Eletrônicos...** Disponível em: <<https://www.ipen.br/biblioteca/cd/cbc/2000/Artigos/404.doc>>. Acesso em mai. 2016.

VALERA, T. S. **Reaproveitamento de vidros laminados provenientes de rejeitos industriais e pós-consumo**. 2005. 160 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP).

VAN VLACK, L.H. **Propriedades dos materiais cerâmicos**. Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo, Brasil, 1984.

VARGAS, I. M; WIEBECK, H. Reciclagem de vidro laminado: utilização dos vidros de baixa granulometria como carga abrasiva na formulação de vernizes de alto tráfego para pisos de madeira. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 17, n. 2, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/po/v17n2/a13v17n2.pdf>>. Acesso em abr. 2016.

VILHENA, A. **Guia da coleta seletiva do lixo**. São Paulo: CEMPRE, 2014. Disponível em: <[file:///C:/Users/user/Downloads/o_19q6e41rqim81tg6rp6qg3veta%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/user/Downloads/o_19q6e41rqim81tg6rp6qg3veta%20(2).pdf)>. Acesso em: jun. 2018.

VILHENA, A; D'ALMEIDA, M. L. O. Segregação de materiais In: D'ALMEIDA, M. L. O; VILHENA, A. (Coord.). **Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado**. 4. ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT/Compromisso Empresarial para Reciclagem – CEMPRE, 2018. p. 81-89.

ZANTA, V. M; FERREIRA, C. F. A; Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos. In: CASTILHOS JÚNIOR, A. B. *et al* (Org.). **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte**. 1 ed. São Carlos – SP: Rima Artes e Textos, 2003. p.1-18.

APÊNDICE 1 – ROTEIRO DAS ENTREVISTAS SEMI-ESTRUTURADAS

a) Roteiro 1 aplicado a profissionais dos órgãos públicos municipais ligados ao manejo de RSU na Região Carbonífera.



Instrumento de coleta de dados referente à tese de doutorado da aluna GLÁUCIA CARDOSO DE SOUZA DAL BÓ, orientada pelos professores Dr. ADRIANO MICHAEL BERNARDIN e pela professora Dra. VIVIANE KRAIESKI DE ASSUNÇÃO, ligada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC). Contatos: glaudsouza@gmail.com e (48) 99907.4096.

Formulário de Diagnóstico da Reciclagem de Vidro: **ÓRGÃOS PÚBLICOS DE MANEJO DE RESÍDUOS SÓLIDOS**

Cidade:	
Órgão/setor:	
Nome do entrevistado:	
Cargo do entrevistado:	
E-mail:	
Telefone:	
Data da entrevista:	

1. Sobre a gestão de resíduos sólidos no município:
a) De quem é a responsabilidade pela gestão de RSU? [_____]
b) O município possui um PMGIRS?
() Sim
() Não
c) Qual a data de aprovação? [_____]
d) Houve revisão do PMGIRS?
() Sim
() Não
2. Sobre a geração e coleta dos RSU no município:
a) Quantidade (ton./mês) gerada e/ou recolhida de RSU pelo sistema de coleta convencional: [_____]
b) Quantidade (ton./mês) gerada e/ou recolhida de RSU pelo sistema de coleta seletiva: [_____]
c) TOTAL (ton./mês) gerada e/ou recolhida pelo sistema de coleta convencional + seletivo: [_____]
d) N. de habitantes: [_____]
e) Geração <i>per capita</i> (kg/hab./dia): [_____]
f) % da pop. atendida pelo sistema de coleta convencional: [_____]
g) % da pop. atendida pelo sistema de coleta seletiva: [_____]
h) Qual a data de implementação do sistema de coleta seletiva: [_____]
i) Qual a categorização adotada pelo sistema de coleta seletiva: [_____]
() Recicláveis X Não-recicláveis
() Recicláveis X Não-recicláveis X Rejeito
() Seco X Úmido
() Recicláveis X Compostáveis X Rejeito
() Recicláveis X Matéria Orgânica
() Recicláveis X Matéria Orgânica X Rejeito
() Outra: Qual? [_____]
j) Qual a forma de coleta adotada para o sistema/programa de coleta seletiva:

<input type="checkbox"/> Porta à porta <input type="checkbox"/> PEV (Ponto de Entrega Voluntária). Nº de PEV'S: <input type="checkbox"/> Outra. Informar: []
l) Considerando a modalidade porta-a-porta, quem recolhe/coleta os RSU:
<input type="checkbox"/> A prefeitura <input type="checkbox"/> A associação/cooperativa <input type="checkbox"/> Parceria entre prefeitura e associação/cooperativa <input type="checkbox"/> Outra. Informar: []
m) Há catação informal/clandestina de RSU no município:
<input type="checkbox"/> Sim. De forma expressiva? () Sim () Não <input type="checkbox"/> Não
3. Sobre a destinação e disposição dos RSU:
a) Qual a destinação dos resíduos recolhidos pela coleta seletiva?
b) Qual alternativa é adotada para disposição dos RSU recolhidos pela coleta convencional?
4. Já foi feito um estudo de composição gravimétrica dos RSU gerados no município?
<input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim. Quais os resultados? [] <input type="checkbox"/> Desconheço.
5. Sobre o VIDRO:
a) Há alguma estimativa de geração/coleta de resíduo de vidro (kg/mês ou ton./mês) no município? []
b) Qual o % de vidro encontrado nos estudos de composição gravimétrica? []
c) Há alguma ação/proposta realizada no município, especificamente relacionada ao resíduo de vidro? Há alguma forma de valorização do VIDRO, enquanto resíduo 100% reciclável?
<input type="checkbox"/> Sim. Qual(is)? [] <input type="checkbox"/> Não. Por quê? []
6. Sobre a cadeia de reciclagem no município:
a) Há algum intermediário (sucateiro/beneficiador) que atue no município com a comercialização ou beneficiamento de resíduos recicláveis?
<input type="checkbox"/> Sim. Quais? Onde? [] <input type="checkbox"/> Não. <input type="checkbox"/> Desconheço.
b) Algum desses intermediários atua especificamente com resíduo de vidro?
<input type="checkbox"/> Sim. Quais? Onde? [] <input type="checkbox"/> Não. <input type="checkbox"/> Desconheço.
c) Há alguma indústria de reciclagem em operação no município?
<input type="checkbox"/> Sim. Quais? Onde? [] <input type="checkbox"/> Não. <input type="checkbox"/> Desconheço.
d) Alguma dessas indústrias atua especificamente com resíduo de vidro?
<input type="checkbox"/> Sim. Quais? Onde? [] <input type="checkbox"/> Não. <input type="checkbox"/> Desconheço.
7. Há uma estimativa relacionada à quantidade de resíduos sólidos perigosos, gerada pelas atividades/empresas/indústrias, em operação, no município? E resíduos não perigosos? []
8. É possível <u>identificar</u> e <u>quantificar</u> as fontes geradores de resíduo de VIDRO em operação no município, bem como, as formas de destinação/disposição adotadas? []
9. É possível <u>identificar</u> e <u>quantificar</u> as fontes geradores de resíduo de VIDRO DE PÁRA-

BRISAS, bem como, as formas de destinação/disposição adotadas?

[_____]

INFORMAÇÕES IMPORTANTES: REGISTRO DA ENTREVISTADORA

Quais agentes da cadeia de reciclagem foram citados e que podem ser também entrevistados nas etapas seguintes da pesquisa?

b) Roteiro 2 aplicado à base da cadeia de reciclagem de vidro: presidentes das associações e cooperativas de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis no âmbito da AMREC.

Instrumento de coleta de dados referente à tese de doutorado da aluna GLÁUCIA CARDOSO DE SOUZA DAL BÓ, orientada pelos professores Dr. ADRIANO MICHAEL BERNARDIN e pela professora Dra. VIVIANE KRAIESKI DE ASSUNÇÃO, ligada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC). Contatos: glaudsouza@gmail.com e (48) 99907.4096.

Formulário de Diagnóstico da Reciclagem de Vidro: **ASSOCIAÇÕES E COOPERATIVAS DA REGIÃO CARBONÍFERA**

Cidade:	
Associação/Cooperativa:	
Nome do entrevistado:	
Cargo do entrevistado:	
E-mail:	
Telefone:	
Data da entrevista:	

1. Qual a forma de organização da unidade de triagem?	
R.	
2. Há algum vínculo com a prefeitura ou com outro órgão? () Sim () Não	
2.1 Qual órgão?	
3. Nº de colaboradores:	
3.1 Data de fundação:	
3.2 Área da unidade:	
4. A unidade trabalha com quais materiais? Quais materiais a unidade <u>não</u> trabalha?	
R.	
4.1 Quem são os principais fornecedores de materiais recicláveis?	
R.	
4.2 De quem é a responsabilidade pela coleta desse material?	
R.	
4.3 O material chega à unidade segregado:	
() Sim () Não () Depende do fornecedor/da rota/itinerário () Parcialmente	
4.4 Há alguma estimativa da produção de rejeitos: [_____ %]	
5. Qual a quantidade triada mensalmente? [_____ kg/mês ou _____ ton./mês]	
5.1 A unidade processa ou beneficia algum dos materiais? () Sim () Não	
5.1.1 Em caso positivo: Qual? Como?	
R.	
6. A unidade trabalha com o vidro? () Sim () Não	
6.1 Em caso negativo, por quê?	
R.	
6.2 De onde vem o vidro que chega à unidade? Quem são os fornecedores?	
R.	

6.3 Quais tipos de vidro chegam à unidade? Como eles são segregados?
R.
6.4 Quem são os compradores do vidro?
R.
7. Em relação ao vidro:
7.1 Qual o valor unitário médio: [R\$/ton. ou R\$/kg]
7.2 Média mensal comercializada de vidro pela unidade: [kg/mês ou ton./mês]
7.3 Total comercializado de vidro por mês: [R\$/mês]
8. Quais as principais limitações ou dificuldades enfrentadas pela unidade, em relação ao vidro?
R.
8.1 Ocorrem acidentes com o manuseio/triagem do vidro, na unidade? (<input type="checkbox"/>) Sim (<input type="checkbox"/>) Não
9. A unidade recebe vidro laminado? (<input type="checkbox"/>) Sim (<input type="checkbox"/>) Não
9.1 Em caso positivo: o que é feito com ele? E qual a quantidade estimada?
R.
9.2 E vidro de para-brisas, costuma chegar na unidade? (<input type="checkbox"/>) Sim (<input type="checkbox"/>) Não
9.2.1 Em caso positivo: Qual a quantidade? E o que é feito com ele?
R.
10. De modo geral, quais as dificuldades que podem ser apontadas, que limitam a atuação da associação/cooperativa no cumprimento da sua função?
R.

Muito obrigada pela sua colaboração e parabéns por fazer parte de um negócio que beneficia o meio ambiente e, conseqüentemente, a todos nós!

c) Roteiro 3 aplicado aos intermediários e aos recicladores integrantes da cadeia de reciclagem de vidro pós-consumo, no âmbito da AMREC.

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE – UNESC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS – PPGCA**

Instrumento de coleta de dados referente à tese de doutorado da aluna GLÁUCIA CARDOSO DE SOUZA-DAL BÓ, orientada pelos professores Dr. ADRIANO MICHAEL BERNARDIN e pela professora Dra. VIVIANE KRAIESKI DE ASSUNÇÃO, ligada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC). Contatos da aluna: <glaudsouza@gmail.com> e (48) 99907.4096.

Formulário de Diagnóstico da Reciclagem de Vidro: **INTERMEDIÁRIOS E
RECICLADORES**

Cidade:	
Nome da empresa/local:	
Nome do respondente:	
Cargo do respondente:	
E-mail:	
Telefone:	
Data da entrevista:	

1. Nº de funcionários atualmente	
2. Área do empreendimento (m ²)	
3. Há quanto tempo atua no mercado da reciclagem de vidro?	
R.	
4. Em qual segmento produtivo se insere/enquadra?	
R.	
5. Trabalha/recebe quais tipos de vidro (ex: vidro plano laminado, temperado, de	

garrafa, ampola, lâmpada, espelho, tubo de TV, para-brisas, etc.)?
R.
6. O vidro recebido pelo empreendimento está sob quais condições? (Pode assinalar mais de uma opção).
() Em caco/quebrado grosseiramente () Triturado () Moído () Chega inteiro () Outra forma. Qual?
7. Sobre a limpeza do vidro comprado: qual grau de impureza admitido na compra do vidro?
R.
8. De onde vem o vidro comprado/adquirido pelo empreendimento? Onde estão situados? No caso de haver inúmeros fornecedores, liste os principais.
R.
8.1 Há uma estimativa do nº de fornecedores de vidro para a sua empresa? [].
9. A despesa relativa ao transporte do vidro comprado/adquirido é de quem? (Pode assinalar mais de uma opção)
() Do comprador/nosso () Do fornecedor/de quem vende () Outro. Quem?
10. Qual a quantidade de vidro comparada mensalmente? (Em kg ou ton./mês).
R.
11. Quanto custa o kg ou a ton. ou a unidade do vidro comprado/adquirido pelo empreendimento. Dê uma estimativa ou média (Detalhar, caso os vidros tenham preços diferentes).
R.
12. O vidro que chega ao empreendimento é segregado de alguma maneira? () Não () Sim. Por tipo () Sim. Por cor () Outra forma. Qual?
13. Considerando a totalidade de vidro comprado/adquirido pelo empreendimento, há geração de rejeito (em função do manuseio ou beneficiamento do vidro)?
() Não. Absolutamente tudo é aproveitado. () Sim. Quanto: [] % do total de vidro que é adquirido é descartado.
14. Qual a forma de armazenamento do vidro comprado/recebido pelo empreendimento (ex: em área aberta ou coberta, caixas, bags, tambores, etc.)?
R.
15. Quais procedimentos são realizados na empresa, considerando todo o processo desde o recebimento até a expedição do produto final? (Descreva as etapas consecutivamente; ex: pesagem, moagem, limpeza, lavagem, peneiramento, etc.).
R.
16. Quais equipamentos são utilizados?
R.
17. Quais produtos são comercializados pelo empreendimento? (ex: garrafas, pó de vidro, frita cerâmica, vidro moído/triturado, etc.).
R.
18. No caso de haver incorporação de vidro no(s) produto(s) comercializado(s) pelo empreendimento, em média, quanto é possível incorporar de vidro reciclado no produto final?
R. [] %
19. Quem são os compradores dos produtos fabricados (à base de vidro reciclado)? Detalhe, inclusive a localização. No caso de haver inúmeros compradores/clientes, liste os principais.
R.
19.1 Aliás, há uma estimativa do nº de clientes interessados no seu produto à base de vidro? [].
20. Há alguma exigência específica por parte dos compradores?
() Não () Sim. Qual(is)? (ex: em relação à limpeza, quantidade, granulometria, certificação, licença, etc.).

21. A despesa relativa ao transporte do produto vendido é de quem? () Do comprador () Nossa () Outro. Quem?
22. Quanto custa, em média, o kg ou a ton. ou a unidade do produto comercializado pelo empreendimento (à base de vidro)? Dê uma estimativa ou média (Detalhar, caso haja diferentes tipos de vidros). R.
23. Qual a capacidade produtiva do empreendimento, considerando os produtos à base do vidro reciclado? (Em kg/mês ou ton./mês ou unidades/mês). R.
24. Há alguma formalização da relação de compra e venda? (Pode assinalar mais de uma opção). () Se dá de acordo com a demanda e disponibilidade. () Há um contrato formal. () Outra. Qual?
25. Há alguma dificuldade em trabalhar com o vidro reciclado? Em caso positivo, enumere-as. R.

Muito obrigada pela sua colaboração e parabéns por fazer parte de um negócio que beneficia o meio ambiente e, conseqüentemente, a todos nós!

**APÊNDICE 2 – MAPEAMENTO DOS POTENCIAIS INTEGRANTES DA CADEIA
DE RECICLAGEM DE VIDRO POR ETAPA**

a) Distribuição dos potenciais integrantes da cadeia de reciclagem de vidro mapeados na etapa I.

Potencial integrante mapeado	Município do entrevistado que o citou	Localização do potencial integrante	Foi contatado	Trabalha com resíduos vítreos	Tipo de vidro	Foi entrevistado
Associação	Forquilha	Forquilha	X	X	VM+E	X
Associação	Criciúma	Criciúma	X	X	VM+E	X
Cooperativa	Urussanga	Urussanga	X	X	VM+E	X
Cooperativa	Criciúma	Criciúma	X	X	VM+E	X
Catador autônomo	Baln. Rincão	Baln. Rincão				
Catador autônomo	Içara	Içara	X			
Catador autônomo	M. da Fumaça	M. da Fumaça	X	X	VM+E	
Catador autônomo	Nova Veneza	Nova Veneza	X			
Catador autônomo	Nova Veneza	Nova Veneza				
Catador autônomo	Nova Veneza	Criciúma				
Sucateiro	Baln. Rincão e Criciúma	Morro da Fumaça	X	X	VM+E	X
Sucateiro	Urussanga	Urussanga	X	X	VP	
Fabricante artef. Vidro	Cocal do Sul	Cocal do Sul	X			
Beneficiador	Cocal do Sul	Cocal do Sul	X	X	E+VP+VT	X
Reciclador	M. da Fumaça	M. da Fumaça	X	X	VM	
Reciclador	Treviso	Treviso	X			
	Base da cadeia					
	Intermediário					
	Topo da cadeia					
	Não se aplica					
VM	Vidro Misto					
E	Embalagem Unitária					
VP	Vidro Plano					
VT	Vidro Técnico					

¹ Vidros técnicos: bulbo de lâmpada descontaminada, ampolas de garrafas, tubo de imagem.

Fonte: Elaborado pela autora.

b) Distribuição dos potenciais integrantes da cadeia de reciclagem de vidro mapeados na etapa II.

Potencial integrante mapeado	Fonte pela qual foi encontrado	Localização do potencial integrante	Foi contatado	Trabalha com resíduos vítreos	Tipo de vidro	Foi entrevistado
Sucateiro	ACRICA	Criciúma	X	X	E	
Sucateiro	ACRICA, CTMAR e ACAFOR	Içara	X	X	E	
Sucateiro	COOPERAMÉRICA	Treze de Maio	X	X	E	
Sucateiro	ACRICA, CTMAR e ACAFOR	M. da Fumaça	X	X	VM+E	X
Sucateiro	Catador autônomo, Içara	Içara	X	X	VM+E	X
Beneficiador	PMGIRS, Içara, CEMPRE	Içara	X	X	VP+VT	X
Beneficiador	Pesquisa eletrônica	RS	X	X	VP	X
Reciclador	Pesquisa eletrônica	Içara	X	X	VP + VT	X

Fonte: Elaborado pela autora

c) Distribuição dos potenciais integrantes da cadeia de reciclagem de vidro mapeados na etapa III.

Potencial integrante mapeado	Fonte pela qual foi encontrado	Localização do potencial integrante	Foi contatado	Trabalha com resíduos vítreos	Tipo de vidro	Foi entrevistado
Reciclador	Sucateiro, Morro da Fumaça	SP	X	X	VM	
Reciclador	Sucateiro, Içara	SP	X	X	VM	
Reciclador	Beneficiador, Içara e RS	RS	X	X	VM + VP	
Reciclador	Beneficiador, Cocal do Sul	SC			Vidro moído	

Fonte: Elaborado pela autora.