

UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC

CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

EDVALDO ROMAGNA CAMILO

**DESENVOLVIMENTO DE ENGOBE DE MURATURA A PARTIR DO RESÍDUO DE
RETÍFICA DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS**

CRICIÚMA

2014

EDVALDO ROMAGNA CAMILO

**DESENVOLVIMENTO DE ENGOBE DE MURATURA A PARTIR DO RESÍDUO DE
RETÍFICA DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado para obtenção do grau de Engenheiro Ambiental no curso de Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC.

Orientador: Prof. Sérgio Luciano Galatto

CRICIÚMA

2014

EDVALDO ROMAGNA CAMILO

**DESENVOLVIMENTO DE ENGOBE DE MURATURA A PARTIR DO RESÍDUO DE
RETÍFICA DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela Banca Examinadora para obtenção do Grau de Engenheiro Ambiental, no Curso de Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, com Linha de Pesquisa em Tratamento e Destino Final de Resíduos Sólidos

Criciúma, 26 de junho de 2014.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Sérgio Luciano Galatto - Mestre - UNESC - Orientador

Prof. Agenor de Noni Junior - Doutor - UNESC

Prof. Elídio Angioletto - Doutor - UNESC

**Dedico este trabalho aos meus familiares,
amigos e a todos que colaboraram para o
desenvolvimento deste projeto.**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela vida maravilhosa que me concedeu.

Aos meus familiares, especialmente aos meus pais, em quem me espelho, José Camilo e Maria de Lourdes Camilo, pela educação, apoio e incentivo que sempre me deram.

A minha namorada, Danielly Burin, pelo amor, carinho e compreensão que sempre me demonstrou.

A todos os professores do curso de Engenharia Ambiental da Unesc, especialmente ao professor Sérgio Luciano Galatto, pela orientação e contribuição no desenvolvimento do meu projeto.

A empresa Massima Revestimentos Cerâmicos Ltda pela oportunidade de estágio e a sua equipe técnica pela colaboração prática no desenvolvimento do meu trabalho e também, ao meu supervisor de estágio, Everaldo Biz.

As instituições Iparque e Torrecid pelos ensaios realizados.

Enfim, agradeço a todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho.

**“Na natureza nada se cria, nada se perde,
tudo se transforma.”**

Antoine Laurent de Lavoisier

RESUMO

A indústria de revestimentos cerâmicos é grande geradora de resíduos, normalmente depositados em aterros, e seu reaproveitamento, do ponto de vista econômico e ambiental, são alternativas agradáveis ao empreendedor. O trabalho tem o objetivo de estudar a aplicação do resíduo sólido de porcelanato esmaltado da estação de tratamento de efluentes (ETE) do setor de retífica de uma cerâmica de revestimentos para formulação de um engobe de muratura. Ensaio laboratoriais e de caracterização química e mineralógica foram realizados em amostras do resíduo da ETE de retífica e no engobe de muratura. Foram desenvolvidas formulações utilizando resíduo da ETE, alumina, caulim e óxido de magnésio em diferentes percentuais mássicos. Os resultados obtidos, em escala laboratorial, indicam que a incorporação de até 20% do resíduo da ETE de retífica no engobe de muratura atende as características técnicas de dureza aparente e refratariedade.

Palavras-chave: Reaproveitamento. Resíduos. Engobe de muratura. Cerâmica de revestimentos.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fluxograma do processo produtivo.	20
Figura 2 - Box de massa.....	21
Figura 3 - Moinho descontínuo.	22
Figura 4 - Atomizador.	23
Figura 5 - Prensa hidráulica.....	24
Figura 6 - Esmaltação.	25
Figura 7 - Aplicação do engobe de muratura.....	26
Figura 8 - Forno contínuo a rolo.	27
Figura 9 - Retífica.	28
Figura 10 - Classificação visual dos defeitos.....	29
Figura 11 - A) local de armazenamento temporário do resíduo de retífica descartado do filtro-prensa. Os pontos 1 a 5 representam a localização da coleta das subamostras; B) Recipiente utilizado para coleta das subamostras.	37
Figura 12 - Dispersador.....	39
Figura 13 - Dispersador.....	40
Figura 14 - Aplicação dos testes com binil.	41
Figura 15 - Picnômetro.....	43
Figura 16 - Viscosímetro.	44
Figura 17 - Granutest.	45
Figura 18 - Dilatômetro.....	46
Figura 19 - DRX do engobe de muratura padrão.	54
Figura 20 - DRX do resíduo sólido da ETE de retífica.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação comercial do produto cerâmico.....	19
Tabela 2 - Classificação dos resíduos sólidos.....	31
Tabela 3 - Nomenclatura dos produtos em relação ao ataque químico.....	47
Tabela 4 - Escala Mohs.....	48
Tabela 5 – Ensaio laboratoriais antes da queima.....	50
Tabela 6 – Ensaio laboratoriais após a queima.....	51
Tabela 7 - Análise de fluorescência de raios-x.....	53
Tabela 8 - Dilatometria óptica.....	53
Tabela 9 - Composições utilizando percentuais (%) mássicos de resíduo da ETE, caulim, alumina e óxido de magnésio.....	56
Tabela 10 - Composições utilizando percentuais (%) mássicos de resíduo da ETE, engobe de muratura e alumina.....	56
Tabela 11 - Composições utilizando percentuais (%) mássicos de resíduo da ETE incorporado ao engobe de muratura.....	57
Tabela 12 - Resultados da incorporação de 20% do resíduo da ETE de retífica no engobe de muratura.....	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABC - Associação Brasileira de Cerâmica

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

DRX - Difração de Raios-X

DTIE - Division of Technology, Industry and Environment

ETE - Estação de Tratamento de Efluentes

FRX - Fluorescência de Raios-X

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IDT - Instituto de Engenharia e Tecnologia

IPARQUE – Parque Científico e Tecnológico

IPAT - Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas

P+L - Produção mais Limpa

NBR - Norma Brasileira

SC – Santa Catarina

SENAI - Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

UNEP - United Nations Environment Program

UNESC - Universidade do Extremo Sul Catarinense

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 INDÚSTRIA CERÂMICA	15
2.1.1 Setor cerâmico	15
2.1.2 Aspectos mercadológicos	16
2.1.3 Aspectos legais	16
2.1.4 Insumos na indústria cerâmica	17
2.1.4.1 Argilas	17
2.1.4.2 Caulim	18
2.1.4.3 Feldspato.....	18
2.1.4.4 Sílica.....	18
2.1.5 Produtos cerâmicos	18
2.2 PROCESSO PRODUTIVO.....	19
2.2.1 Recepção das matérias-primas	20
2.2.2 Preparação de massa (moagem)	21
2.2.3 Atomização	22
2.2.4 Prensagem	23
2.2.5 Secagem	24
2.2.6 Esmaltação	24
2.2.6.1 Engobe de muratura.....	25
2.2.7 Queima	26
2.2.8 Retífica	27
2.2.9 Inspeção e embalagem	29
2.2.10 Estação de tratamento de efluentes (ETE)	29
2.3 RESÍDUOS SÓLIDOS.....	30
2.3.1 Resíduo sólido industrial	32
2.3.2 Classificação	32
2.3.2.1 Classificação do resíduo sólido da ETE de retífica	33
2.3.3 P + L	34
2.3.3.1 Fases da P + L	34
3 METODOLOGIA	36
3.1 AMOSTRAGEM	36

3.1.1 Resíduo de retífica	36
3.1.2 Engobe de muratura padrão.....	37
3.2 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS	37
3.2.1 Ensaio laboratoriais	37
3.2.2 Caracterização química e mineralógica.....	38
3.3 MÉTODOS	38
3.3.1 Preparação das amostras.....	38
3.3.2 Preparação das composições.....	39
3.3.3 Preparação dos corpos-de-prova	40
3.3.4 Tratamento térmico.....	40
3.4 TESTES DE QUALIDADE	41
3.4.1 Umidade	42
3.4.2 Percentual (%) de sólidos.....	42
3.4.3 Percentual (%) de resíduo	42
3.4.4 Densidade aparente	42
3.4.5 Viscosidade	43
3.4.6 Granulometria.....	44
3.4.7 Retração linear de queima.....	45
3.4.8 Perda ao fogo	45
3.4.9 Dilatação térmica.....	46
3.4.10 Resistência ao ataque químico	47
3.4.11 Dureza aparente	47
3.4.12 Refratariedade	48
3.4.13 Análise superficial dos resultados	48
3.5 ESTIMATIVA DE CUSTO.....	49
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS.....	50
4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS	50
4.1.1 Ensaio laboratoriais	50
4.1.2 Caracterização química	52
4.1.3 Caracterização mineralógica.....	54
4.2 RESULTADOS DOS ENSAIOS DAS FORMULAÇÕES.....	55
4.3 ANÁLISES DE CUSTOS	57
5 CONCLUSÃO	60
REFERÊNCIAS.....	62

APÊNDICES	65
APÊNDICE A - Equações	66
ANEXOS	68
ANEXO A – Sinterização do rejeito da ETE de retífica.	69
ANEXO B – Sinterização do engobe de muratura padrão.	70
ANEXO C – Análises de caracterização e classificação de resíduos sólidos.	71

1 INTRODUÇÃO

Há algum tempo, a preocupação com o meio ambiente vem mudando a postura do mercado. Hoje em dia, as empresas buscam o desenvolvimento sustentável, e as ações a favor do meio ambiente passaram a ser utilizadas como marketing empresarial. Diante dessa nova postura de mercado, muitas têm procurado a certificação ambiental ISO 14001 e, para tanto, é necessária a implantação do Sistema de Gestão Ambiental - SGA (JUNIOR; ROCHA, 2010).

De acordo a Cetesb (2008), a adoção da P+L como uma ferramenta do sistema de gestão da empresa, pode trazer resultados ambientais satisfatórios, de forma contínua e perene, ao invés da implementação de ações pontuais e unitárias. Estes dados permitirão estabelecer, em futuro próximo, indicadores como a produtividade, a redução do consumo de matérias-primas e dos recursos naturais, a eliminação de substâncias tóxicas, a redução da carga de resíduos gerados e a diminuição do passivo ambiental, sendo que os resultados positivos destes indicadores implicam diretamente na redução de riscos para a saúde ambiental e humana, bem como contribuem para os benefícios econômicos do empreendedor, para a sua competitividade e imagem empresarial, tendo em vista os novos enfoques certificatórios que regem a Gestão Empresarial. Nesse sentido, a P+L pode ser resumida como uma série de estratégias, práticas e condutas econômicas, ambientais e técnicas, que evitam ou reduzem a emissão de poluentes no meio ambiente por meio de ações preventivas, ou seja, evitando a geração de poluentes ou criando alternativas para que estes sejam reutilizados ou reciclados.

O objetivo geral deste estudo trata-se de avaliar a aplicação do resíduo sólido de porcelanato esmaltado da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) do setor de retífica de uma cerâmica de revestimentos para formulação de engobe de muratura, em escala laboratorial, para reutilização no processo industrial.

Mais especificamente, este trabalho refere-se em: realizar a caracterização química e mineralógica; realizar ensaios, em escala laboratorial, elaborando diferentes composições com resíduo da ETE de retífica e outras matérias-primas na formulação do engobe de muratura; realizar testes de qualidade com os corpos-de-prova em escala laboratorial; e fazer análise de viabilidade para emprego do resíduo no processo industrial.

As indústrias produzem diferentes resíduos sólidos e nem sempre são reaproveitados ou dado destino ecologicamente correto. Estes resíduos podem ser reutilizados diretamente ou aproveitados como matéria-prima no processo industrial, pois empresas com interesse em ampliar o mercado vêm buscando investimentos no desenvolvimento de seus produtos e estimulando pesquisas científicas com objetivo de reduzir custos de insumos. O gerenciamento de resíduos busca a redução da quantidade gerada nas etapas do processo industrial, seguida da reciclagem e reuso (VELHO; BERNARDIN, 2011).

A indústria de revestimentos cerâmicos, localizada no sul de Santa Catarina e onde será realizado este estudo, produz quantidade significativa de resíduos sólidos, entre os quais, um deles é proveniente da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) do setor de retífica. Atualmente, uma parte do resíduo de retífica é reaproveitada na composição da massa cerâmica e outra parte é destinada ao aterro industrial, deste modo, gerando custo com sua disposição final.

Nesse contexto, este trabalho busca avaliar o emprego do resíduo da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) do setor de retífica de uma cerâmica de revestimentos para formulação de um engobe de muratura, em escala laboratorial, visando à reutilização no processo industrial, de modo a minimizar custos de matéria-prima, produção e disposição em aterro industrial, sendo lucrativo para o empreendedor e contribuindo com o meio ambiente.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste item será relatado, de forma concisa, sobre o setor cerâmico e os processos de fabricação da cerâmica de revestimentos, dando ênfase aos processos de produção do porcelanato esmaltado da empresa em estudo.

2.1 INDÚSTRIA CERÂMICA

De acordo com a Associação Brasileira de Cerâmica - ABC (2014), a abundância de matérias-primas naturais, fontes alternativas de energia e disponibilidade de tecnologias práticas embutidas nos equipamentos industriais, fizeram com que as indústrias cerâmicas brasileiras evoluíssem rapidamente e muitos tipos de produtos dos diversos segmentos cerâmicos atingissem nível de qualidade mundial com apreciável quantidade exportada.

As regiões que mais se desenvolveram foram a Sudeste e a Sul, em razão da maior densidade demográfica, maior atividade industrial e agropecuária, melhor infraestrutura e distribuição de renda, associado às facilidades de matérias-primas, energia, centros de pesquisa, universidades e escolas técnicas. Portanto, são nelas onde se tem uma grande concentração de indústrias de todos os segmentos cerâmicos (ABC, 2014).

2.1.1 Setor cerâmico

Para CETESB (2008, p. 22), em função de diversos fatores, como matérias-primas empregadas, propriedades e utilização dos produtos fabricados, os diversos segmentos que compõem o setor cerâmico possuem características diferentes, e podem ser classificados da seguinte forma: cerâmica branca; cerâmica de revestimentos; cerâmica vermelha; materiais refratários; isolantes térmicos; cerâmica de alta tecnologia / cerâmica avançada; entre outros, tais como, fritas, corantes, abrasivos, vidro, cimento e cal.

A cerâmica de revestimento é responsável pela produção de materiais na forma de placas, usados na construção civil para revestimentos de paredes, pisos, bancadas e piscinas de ambientes internos e externos, os quais recebem diversas

designações, tais como: azulejo, pastilha, porcelanato, grês, lajota, piso, etc. (CETESB, 2008, p. 22).

2.1.2 Aspectos mercadológicos

De acordo com a Revista Mundo Cerâmico (2013, p. 16), a produção nacional de revestimentos cerâmicos para 2014 deverá aumentar 4 %, totalizando mais de 900 milhões de metros quadrados produzidos no ano. Sendo que o Brasil é um dos principais países do setor, ocupando a segunda posição mundial em produção e consumo.

A tendência para 2014 continuará sendo a impressão digital em alta definição que permite a reprodução de materiais naturais, como madeira e pedra, com a máxima fidelidade de suas características estéticas (REVISTA MUNDO CERÂMICO, 2013, p. 16).

2.1.3 Aspectos legais

Dentre muitos motivos importantes para cumprir as leis, destaca-se a necessidade, por parte da organização que tem ou busca ter um Sistema de Gestão Ambiental certificado em conformidade com a NBR ISO 14001, de atender a todos os requisitos legais aplicáveis.

A CETESB (2008, p. 81) apresenta algumas das principais normas relativas ao setor cerâmico:

- NBR 13816: Placas Cerâmicas para Revestimento - Terminologia;
- NBR 13817: Placas Cerâmicas para Revestimento - Classificação;
- NBR 13818: Placas Cerâmicas para Revestimento - Especificação e Métodos de Ensaio.

Dentre outras normas, leis e decretos podem-se citar:

- NBR ISO 14001: Sistemas de Gestão Ambiental - Especificação e diretrizes para uso (ABNT, 1996);
- NBR 10004: Resíduos Sólidos - Classificação (ABNT, 2004);
- Lei Federal nº 9.605: dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente (BRASIL,

1998);

- Lei Federal nº 12.305: institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. (BRASIL, 2010);
- Lei Federal nº 6.938: dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação (BRASIL, 1981);
- Decreto - Lei Federal nº 1.413: dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente provocada por atividades industriais (BRASIL, 1975);
- Lei nº 13.557: Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos e adota outras providências (SANTA CATARINA, 2005);
- Resolução CONAMA nº 313: dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2002).

2.1.4 Insumos na indústria cerâmica

Os materiais cerâmicos são fabricados a partir de matérias-primas que incluem: naturais; beneficiadas e sintéticas de características controladas. Por meio de um processamento adequado, as propriedades dessas matérias-primas são alteradas em composição química, em estrutura cristalina e no arranjo das diversas fases componentes; geralmente, pelo menos em uma das etapas do processamento, os materiais são submetidos a temperaturas elevadas para que as propriedades úteis desejadas sejam desenvolvidas (SANTOS, 1989, p. 377).

Argilas, sílica e feldspatos são as principais matérias-primas usadas em cerâmica, sendo também componentes de vidros, esmaltes cerâmicos e de alguns refratários. Outras matérias-primas cerâmicas costumam ser produtos químicos processados ou produtos processados de indústrias cerâmicas (cimento, cal, ligantes hidráulicos, abrasivos e outros) (SANTOS, 1989, p. 387).

2.1.4.1 Argilas

A argila é um material natural, terroso, de granulação fina, que geralmente adquire, quando umedecido com água, certa plasticidade; quimicamente, as argilas

são formadas essencialmente por silicatos hidratados de alumínio, ferro e magnésio (SANTOS, 1989, p. 1).

2.1.4.2 Caulim

Caulim é uma rocha branca ou ligeiramente colorida, geralmente com 15 % (em peso) de material argiloso, fundamentalmente caulinítico (SILVA, 2013). Possui propriedades fundamentais no revestimento cerâmico, que são: coloração branca após a queima, alta refratariedade, estabilidade dimensional e baixo coeficiente de dilatação térmica.

2.1.4.3 Feldspato

O uso de feldspato facilita a fusão e reatividade de mistura, reduzindo a temperatura de fusão de determinado material. Os feldspatos melhoram a compactação e permeabilidade das peças conformadas (SILVA, 2013).

2.1.4.4 Sílica

Silva (2013) relata que o quartzo está presente na maior parte de barbotinas cerâmicas, seja para esmalte ou suporte. É introduzido com argilas naturais ou como matéria-prima separada, utilizado principalmente para diminuir a plasticidade das misturas de matérias-primas e aumentar a permeabilidade da peça crua e o coeficiente de dilatação da peça queimada.

2.1.5 Produtos cerâmicos

Uma das classificações comerciais do produto cerâmico é baseada em seu grupo de absorção de água (Tabela 1).

Tabela 1 - Classificação comercial do produto cerâmico.

Produto Cerâmico	Classificação	Absorção de Água (%)
Porcelanato	Técnico	$\leq 0,1$
Porcelanato	Esmaltado	$\leq 0,5$
Grês	BIb	$0,5 \leq 3,0$
Semi-grês	BIIa	$3,0 \leq 6,0$
Semi-poroso	BIIb	$6,0 \leq 10$
Poroso	BIII	Acima de 10

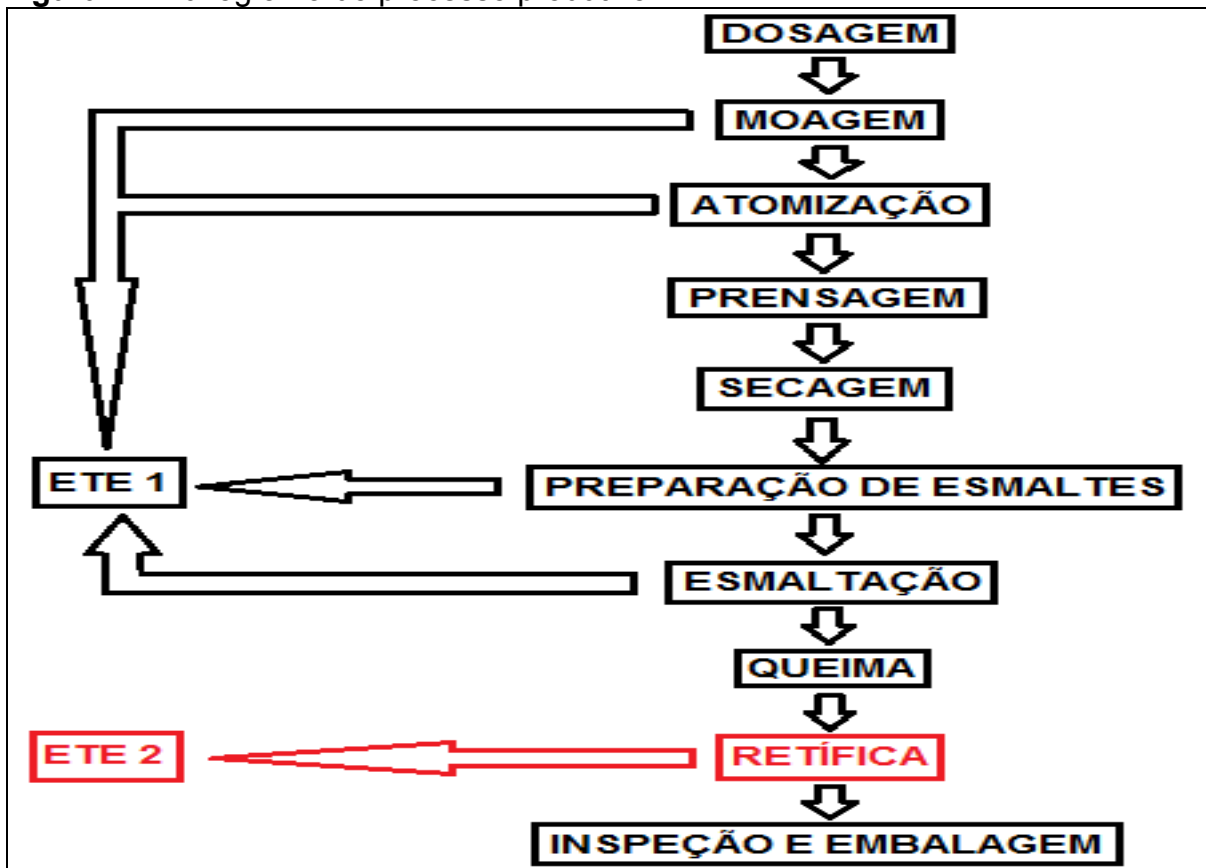
Fonte: NBR 13817 (1997); NBR 13818 (1997), adaptado pelo autor (2014).

Para Almeida et al (2011), a absorção de água é uma propriedade física relacionada à porosidade aberta da placa cerâmica, pois quanto mais abertos os poros, maior é a quantidade de água a penetrar na placa. A absorção de água influencia outras propriedades, como a resistência ao gelo, a resistência ao impacto e a resistência mecânica do revestimento cerâmico. É conveniente a utilização de revestimentos com absorção de água menor em locais mais úmidos, como banheiro, cozinha e lavanderia.

2.2 PROCESSO PRODUTIVO

O processo de fabricação de revestimentos cerâmicos da empresa em estudo compreende algumas etapas, incluindo os processos que contribuem com os efluentes encaminhados à estação de tratamento de efluentes (ETE), conforme a Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma do processo produtivo.



Fonte: Autor (2014).

Os processos de fabricação empregados pelas cerâmicas de revestimentos podem diferir conforme o tipo de material desejado, pois de acordo com as características de cada produto, procede-se a sua formulação em um lote de tamanho definido, com as matérias-primas e aditivos necessários a este lote.

2.2.1 Recepção das matérias-primas

As matérias-primas utilizadas na fabricação da cerâmica de revestimentos são estocadas no interior da fábrica, em locais chamados de boxes (Figura 2). Com o armazenamento das matérias-primas, ocorre a pesagem de acordo com a formulação interna, visando às características desejadas. Após esta etapa, as matérias-primas são encaminhadas por correia transportadora até o moinho, onde ocorre a preparação da massa.

Figura 2 - Box de massa.



Fonte: Autor (2014).

2.2.2 Preparação de massa (moagem)

Depois de separadas, as matérias-primas são transportadas por correias até o moinho descontínuo que faz a moagem por meio de bolas de alta alumina e revestimento de borracha (Figura 3). Este equipamento tem a função de homogeneizar todos os componentes e reduzir a granulometria, transformando-os na base do revestimento cerâmico (SILVA, 2013).

O processo de moagem, nos dias atuais, pode ser produzido por dois tipos: via seca ou via úmida. No processo por via úmida, os ingredientes são parcialmente dosados, adicionando água e aditivo durante a mistura, conseguindo assim uma melhor qualidade, resistência e homogeneização da massa. O produto desta etapa é chamado de barbotina e é depositado em grandes tanques subterrâneos, estando pronta para o processo de atomização.

Segundo Silva (2013), as finalidades da deposição da barbotina em tanques subterrâneos são: manter a barbotina em agitação evitando a decantação; homogeneizar a barbotina; fazer possíveis acertos na descarga; liberação de bolhas durante a agitação; e manter um estoque para a atomização.

Figura 3 - Moinho descontínuo.



Fonte: Autor (2014).

2.2.3 Atomização

De acordo com Silva (2013), no caso de moagem a úmido, a barbotina passa por um processo de secagem (atomização), obtendo a forma de pó atomizado (grãos).

No atomizador (Figura 4) ocorre a secagem de barbotinas cerâmicas, onde a mesma é pulverizada dos tanques de serviço para o interior do atomizador, através de bombas de recalques com pressões controladas. Um queimador a gás gera o ar quente transportado para o interior da câmara de secagem, que ao entrar em contato com a barbotina tem seu conteúdo de água evaporado para o exterior da fábrica, em forma de vapor d'água, enquanto a parte sólida cai sobre uma correia transportadora na parte inferior do atomizador, denominado de "pó atomizado" (SILVA, 2013).

Figura 4 - Atomizador.



Fonte: Autor (2014).

Após a atomização, o material passa por peneiras e é transportado por correias e levado ao elevador que faz o transporte até os silos de armazenamento, que tem como finalidade armazenar a massa atomizada para repouso por um período de no mínimo 24 horas (SILVA, 2013).

2.2.4 Prensagem

A prensagem (Figura 5) é a fase do processo onde o pó atomizado é submetido à alta pressão, o que dará a sua forma definida, o chamado biscoito. Promove a compactação do pó, unindo e deformando os grãos, reduzindo o volume inicial, eliminando quase por completo o ar que ocupava os espaços entre os grãos (SILVA, 2013).

Figura 5 - Prensa hidráulica.



Fonte: Autor (2014).

A utilização de prensas hidráulicas nas indústrias cerâmicas de revestimento tornou-se indispensável, devido às características conferidas ao produto: constância na força, compactação uniforme, redução de defeitos de prensagem.

2.2.5 Secagem

O biscoito é caracterizado por baixíssima resistência mecânica e alta umidade, por isso, passa-se por processo de secagem, para retirada de umidade e aumento da resistência mecânica, a uma temperatura de 90°C a 120°C (SILVA, 2013).

2.2.6 Esmaltação

A esmaltação (Figura 6) consiste em um processo de acabamento superficial, onde são aplicadas camadas de esmalte, atendendo as características

definidas de cada produto a fim de atribuir ao revestimento aspectos estéticos, higiênicos e de resistência mecânica (SILVA, 2013).

Figura 6 - Esmaltação.



Fonte: Autor (2014).

Segundo Silva (2013), os esmaltes são aplicados em peças cerâmicas com diversas finalidades: impermeabilização; embelezamento; aumento da resistência aos ataques químicos (ácidos e bases) e à resistência mecânica.

2.2.6.1 Engobe de muratura

Conforme Almeida et. al. (2011), o engobe de muratura define-se como um pó branco aplicado no verso da placa cerâmica, com o objetivo de permitir a movimentação da peça dentro do forno sem grudar nos rolos refratários, criando uma película protetora entre o piso e o rolo do forno, evitando assim, o acúmulo de esmalte nos rolos, podendo causar empeno no piso e o próprio desgaste do rolo. É constituído de uma mistura de matérias-primas refratárias, nas quais se destacam as argilas, os caulins, a alumina e a magnesita. Deste modo, o engobe de muratura deve ser refratário, ou seja, resistir às altas temperaturas e não fundir nos rolos do

forno e também deve ter uma baixa dureza aparente, sendo facilmente removido ou riscado com a unha.

A mistura é aplicada no verso da peça cerâmica (Figura 7) na forma de suspensão aquosa de baixa densidade.

Figura 7 - Aplicação do engobe de muratura.



Fonte: Autor (2014).

Matérias-primas contendo cálcio devem ser evitadas nas composições desses engobes, pois tendem a prejudicar a resistência ao choque térmico dos rolos refratários do forno (ALMEIDA et. al., 2011).

2.2.7 Queima

As placas cerâmicas, já com o acabamento superficial, seguem para o forno industrial (Figura 8), que utiliza queimadores a gás natural para geração de calor. A temperatura de queima pode variar de 1140°C a 1190°C de acordo com a exigência para cada produto.

Figura 8 - Forno contínuo a rolo.



Fonte: Autor (2014).

Silva (2013) descreve que a queima é a fase central do processo cerâmico, caracterizado por um conjunto, muito complexo, de transformações físicas e químicas produzidas pelo calor. Tendo a finalidade de aglomeração de partículas, reduzindo a área específica total, o volume aparente total e aumento da sua resistência mecânica e a água.

2.2.8 Retífica

De acordo com Silva (2013), o objetivo da etapa de retífica (Figura 9) é efetuar o esquadreamento da peça, ou seja, retificam-se os quatro lados da mesma para deixá-la exatamente no esquadro, deste modo, eliminam-se as juntas de assentamento entre as peças cerâmicas, fazendo com que elas fiquem encostadas umas nas outras, resultando em um acabamento muito mais agradável.

Figura 9 - Retífica.



Fonte: Autor (2014).

Nesta etapa são retirados, em média, 5 mm de cada lado da peça cerâmica.

Na retificação de cerâmica, o diamante (principalmente sintético) é o abrasivo utilizado, devido a sua dureza e condutividade térmica (FUJITA et al, 2006).

Para Fujita et al (2006), o processo de retificação é descrito pela interação de grãos abrasivos na superfície de um rebolo com o material da peça a ser retificada. A microtopografia ativa da superfície dos rebolos é determinada por dois processos: o procedimento de condicionamento para preparação da ferramenta (perfilamento e dressagem) e as alterações da microtopografia durante a retificação. A abrasão, a microfratura (fratura dos grãos abrasivos), a remoção dos grãos abrasivos da liga e a remoção (desgaste) da liga são responsáveis pela alteração na microtopografia do rebolo.

A microfratura e abrasão dos grãos de diamante são determinadas pelas forças atuantes nas partículas abrasivas. As forças de retificação dependem do tipo de grão, velocidade do rebolo e condições de retificação (FUJITA et al, 2006).

2.2.9 Inspeção e embalagem

Na saída do forno está instalada a linha de seleção automática, onde o produto é separado através de classificação visual dos defeitos superficiais, realizada pelo operador industrial, e defeitos de ortogonalidade separados pela própria máquina (Figura 10). Após o processo de escolha, os produtos são devidamente encaixotados, paletizados e estocados para expedição.

Figura 10 - Classificação visual dos defeitos.



Fonte: Autor (2014).

2.2.10 Estação de tratamento de efluentes (ETE)

No decorrer do processo produtivo, diversas atividades geram resíduos, emissões atmosféricas e efluentes que devem receber tratamento adequado antes do descarte para o meio ambiente.

Os efluentes, no caso da empresa em análise, são produzidos nos setores: moagem, atomização, preparação de esmaltes, esmaltação e retífica. A geração desses efluentes deve-se, principalmente, à limpeza de equipamentos e lavação dos setores.

Conforme relata Silva (2013), em função da grande quantidade de água utilizada no processo de retífica e do grau de impureza presente, quase toda água utilizada no setor de retífica é tratada e reaproveitada.

A empresa em estudo possui instaladas duas ETE's independentes, uma destinada ao tratamento dos efluentes gerados nos setores de moagem, atomização, preparação de esmaltes e esmaltação, e a outra destinada ao tratamento dos efluentes do setor de retífica.

O desenvolvimento deste trabalho considerou o resíduo sólido de retífica oriundo do processo de filtragem (filtro-prensa) do tratamento de efluentes do mesmo setor. Estes efluentes são coletados em canais secundários ligados a um canal central que tem a finalidade de transportar a mistura destes efluentes para o devido tratamento e reaproveitamento no processo industrial. Adiante são descritas as principais fases do processo:

- Tanque de recepção: tanque de recebimento dos efluentes de processo. O efluente posteriormente é bombeado para os silos de armazenamento e floculação;
- Silos de armazenamento e floculação: silos onde a água é armazenada e os produtos químicos são utilizados para a decantação dos sólidos, e consequente separação da água tratada;
- Filtro-prensa: equipamento utilizado para a filtração do lodo proveniente da decantação da água. O mesmo é constituído de uma série de pratos paralelos, cobertos por um meio filtrante. As câmaras, onde ficam depositadas as tortas, são formadas entre as placas sucessivas;
- Tanque de água tratada: tanque para onde a água tratada na estação é bombeada. Este tanque armazena a água até que a mesma possa ser utilizada no processo produtivo.

2.3 RESÍDUOS SÓLIDOS

Conforme o art. 9º da Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010), na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

A definição de resíduos sólidos, de acordo com a NBR 10004/2004, é que são os resíduos nos estados sólido e semi-sólido, resultantes da atividade da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição (Tabela 2).

Tabela 2 - Classificação dos resíduos sólidos.

Tipo de Resíduos Sólidos	Definição
Residencial	Chamado de lixo domiciliar, constituído de restos de alimentação, invólucros diversos, varredura, folhagem, ciscos e outros.
Comercial	Provenientes de diversos estabelecimentos comerciais, como escritórios, lojas, hotéis, restaurantes, supermercados, quitandas e outros.
Industrial	Resultante de diferentes áreas da indústria e, portanto, de constituição muito variada.
Serviços de Saúde	Constituído de resíduos das mais diferentes áreas do estabelecimento: refeitório e cozinha, área de patogênicos, administração, limpeza e outros.
Especial	Lixo constituído por resíduos e materiais produzidos esporadicamente como: folhagem de limpeza de jardins, restos de poda, animais mortos, entulho e etc.
Feira, Varrição e Outros	Provenientes de varrição regular das ruas, conservação da limpeza de núcleos comerciais, limpeza de feiras, constituindo-se de papéis, cigarros, invólucros, restos de capinação, areia, ciscos e folhas.

Fonte: Schalch (1994), adaptado pelo autor.

2.3.1 Resíduo sólido industrial

De acordo com a Resolução Conama nº 313 de 2002, que dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais, define resíduo sólido industrial como:

Todo o resíduo que resulte de atividades industriais e que se encontre nos estados sólido, semi-sólido, gasoso, quando contido, e líquido, cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água e aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição (RESOLUÇÃO CONAMA nº 313, 2002, p. 659).

Com boas práticas, é possível reduzir ou eliminar o uso de matérias-primas tóxicas, aumento da eficiência no uso de matérias-primas, água ou energia, redução na geração de resíduos e efluentes, e reuso de recursos, entre outros (CETESB, 2008).

2.3.2 Classificação

Segundo a NBR 10004/2004, os resíduos sólidos podem ser classificados em duas classes: Classe I - Perigosos; Classe II - Não-Perigosos. Os resíduos Classe II estão subdivididos em Classe II-A (Não Inertes) e Classe II-B (Inertes).

a) Resíduos Classe I: são aqueles que, em função de suas propriedades físicas, químicas apresentem risco a saúde e ao meio ambiente, ou ainda apresentem características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, por exemplo (ABNT, 2004).

- Inflamabilidade: pólvora suja, frascos pressurizados de inseticidas;
- Corrosividade: resíduos de indústrias contendo ácidos ou bases fortes;
- Reatividade: resíduos de indústrias que possuem alta reatividade em água;
- Toxicidade: Lodo de ETE contendo alta concentração de metais pesados;
- Patogenicidade: resíduos com presença de vírus e bactérias.

b) Resíduos Classe II A: são aqueles que não se enquadram na classificação de resíduos Classe I ou resíduos Classe IIB ou aqueles que

apresentam propriedades tais como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água, por exemplo (ABNT, 2004).

- Resíduos de construção civil (entulho);
- Combustibilidade: restos de madeira, papel;
- Biodegradabilidade: restos de alimento;
- Solubilidade em água: lodos de processos contendo sais em água.

c) Resíduos Classe II B: resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, conforme NBR 10007, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, de acordo com NBR 10006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor (ABNT, 2004).

A classificação de resíduos sólidos envolve a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem, de seus constituintes e características, e a comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido (IBAMA, 2012).

2.3.2.1 Classificação do resíduo sólido da ETE de retífica

A classificação do resíduo deu-se através da utilização de um laudo técnico datado de julho de 2005. Cabe destacar que os ensaios de lixiviação e solubilização para classificação do resíduo, foram realizados, na época, junto ao Laboratório de Análises de Solo e Fertilizantes Químicos do Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas (IPAT), atualmente pertencente ao Parque Científico e Tecnológico (IPARQUE), da UNESC.

A metodologia baseia-se no “SW 846 (USEPA 1986), Test Method for Evaluating Solid Wastw Report Number SW-846, Washington, DC” e as referências: NBR 10004/04 - Classificação de Resíduos Sólidos; NBR 10005/04 - Ensaio de Lixiviação; NBR 10006/04 - Ensaio de Solubilização; e NBR 10007 - Amostragem de Resíduos.

Os ensaios de lixiviação e solubilização encontram-se no Anexo C. Foi utilizado como referência no trabalho o último ensaio solicitado pela empresa em 2005 devido aos custos financeiros para realizar análises atualizadas.

Analisando o Anexo C, observa-se que no lixiviado o parâmetro bário ultrapassou o limite máximo permitido (limite constante no anexo F da ABNT NBR 10004:2004). Quanto ao solubilizado, os parâmetros analisados bário e fluoreto ultrapassam os limites máximos permitidos (limites constantes no anexo G da ABNT NBR 10004:2004).

Devido aos resultados obtidos no decorrer dos ensaios realizados (lixiviação e solubilização), o resíduo analisado foi classificado como Classe I - Perigoso, segundo a ABNT NBR 10004:2004, nos parâmetros analisados.

2.3.3 P + L

Em 1989, a expressão “Produção Mais Limpa” foi lançada pela UNEP (United Nations Environment Program) e pela DTIE (Division of Technology, Industry and Environment) como sendo a aplicação contínua de uma estratégia integrada de prevenção ambiental a processos, produtos e serviços, visando o aumento da eficiência da produção e a redução dos riscos para o homem e o meio ambiente. (WERNER; BACARGI; HALL, 2009).

Segundo a Cetesb (2008), P+L pode ser resumida como uma série de estratégias, práticas e condutas econômicas, ambientais e técnicas, que evitam ou reduzem a emissão de poluentes no meio ambiente por meio de ações preventivas, ou seja, evitando a geração de poluentes ou criando alternativas para que estes sejam reutilizados ou reciclados.

A indústria brasileira descobre a Produção Mais Limpa na década de noventa, mais precisamente após a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, a Rio 92 (WERNER; BACARGI; HALL, 2009).

2.3.3.1 Fases da P + L

A produção mais limpa se divide em cinco fases distintas: planejamento e organização; pré-avaliação; avaliação; estudo de viabilidade; e implementação (SENAI, 2003).

- Planejamento e organização: obter compromisso e envolvimento da gerência; definir uma equipe do projeto; estabelecer objetivos;

identificar barreiras e propor soluções;

- Pré-avaliação: desenvolver o fluxograma do processo; avaliar as entradas e saídas; selecionar o foco da avaliação de produção mais limpa;
- Avaliação: originar um balanço de material; conduzir uma avaliação de causas; gerar oportunidades; separar oportunidades;
- Estudo de viabilidade: avaliação preliminar; avaliação técnica; avaliação econômica; avaliação ambiental; seleção de oportunidades;
- Implementação: preparar o plano de produção mais limpa; implementar oportunidades de produção mais limpa; monitorar e avaliar; sustentar atividades de produção mais limpa.

3 METODOLOGIA

Os ensaios de Difração de Raios-X (DRX) e de dilatométrica óptica foram realizados no Instituto de Engenharia e Tecnologia (IDT) e os de lixiviação e solubilização foram feitos pelo Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas (IPAT), ambos do IPARQUE pertencente à UNESCO, em Criciúma/SC.

O ensaio de Fluorescência de Raios-X (FRX) foi realizado pela empresa Torrecid, localizada no município de Içara/SC. Os demais ensaios foram desenvolvidos em laboratório interno na cerâmica de revestimentos em estudo.

Neste capítulo consta a descrição dos materiais e métodos usados nesta pesquisa.

3.1 AMOSTRAGEM

3.1.1 Resíduo de retífica

As amostras de resíduo foram coletadas na saída do filtro-prensa da ETE destinada ao tratamento dos efluentes do setor de retífica em data com produção de porcelanato esmaltado, na qual se encontrava em linha de produção durante duas (2) semanas.

Foram selecionados, aleatoriamente, cinco (5) pontos na ETE para coleta de subamostra, com volume de dez (10) litros cada subamostra (Figura 11). Em seguida, foram dispersadas para compor uma amostra homogênea.

Figura 11 - A) local de armazenamento temporário do resíduo de retífica descartado do filtro-prensa. Os pontos 1 a 5 representam a localização da coleta das subamostras; B) Recipiente utilizado para coleta das subamostras.



Fonte: Autor (2014).

3.1.2 Engobe de muratura padrão

Foi coletada uma amostra de vinte (20) litros do engobe de muratura padrão no tanque da linha de produção.

Esta amostra, além de servir como padrão, também foi utilizado para compor as formulações do trabalho.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS

3.2.1 Ensaios laboratoriais

Foram realizadas, no laboratório interno da cerâmica de revestimentos, análises em amostras do resíduo de retífica e engobe de muratura padrão, como: ensaios de densidade aparente; viscosidade; percentuais (%) de umidade, de sólido e de resíduo; granulometria; dilação térmica; retração linear de queima; perda ao fogo; dureza aparente; e refratariedade.

3.2.2 Caracterização química e mineralógica

Quanto à caracterização química, foram realizadas análises químicas no resíduo de retífica e no engobe de muratura padrão por meio de Fluorescência de Raios-X (FRX) no laboratório da empresa Torrecid, localizada no município de Içara/SC. O ensaio de dilatométrica óptica foi realizado no Instituto de Engenharia e Tecnologia (IDT) da Unesc, em Criciúma/SC. Também foi realizado, no laboratório da empresa em estudo, ensaio de resistência ao ataque químico em ambas as amostras.

A caracterização mineralógica deu-se através da determinação das fases cristalinas por Difração de Raios-X (DRX) no Instituto de Engenharia e Tecnologia (IDT) da Unesc, em Criciúma/SC.

3.3 MÉTODOS

Esta atividade consistiu-se em:

- Preparação das amostras;
- Preparação das diferentes composições;
- Preparação dos corpos-de-prova;
- Tratamento térmico (queima dos corpos-de-prova).

3.3.1 Preparação das amostras

Primeiramente, foi coletada uma amostra de vinte (20) litros do engobe de muratura padrão no tanque da linha de produção para servir de referência nas análises. Em seguida, foi determinado o resíduo retido em malha 325 mesh, a viscosidade em copo Ford nº 4 e a densidade por picnometria (picnômetro de 100 mL) de acordo com o procedimento interno da empresa “PO-050” e os percentuais (%) de umidade e sólidos conforme o procedimento “MT-009”. Seguindo estes procedimentos, foram realizados os mesmos ensaios com o resíduo de retífica proveniente da ETE.

Depois de coletadas as amostras na ETE da retífica, colocou-se em uma bombona para fazer a homogeneização da amostra em um dispersador (Figura 12).

Foram adicionados vinte (20) litros de água para facilitar a dispersão da amostra e para a densidade e viscosidade ficarem de acordo com a amostra padrão do engobe de muratura, cerca de $1,57 \text{ g/cm}^3$ e 15 s, respectivamente.

Figura 12 - Dispersador.



Fonte: Autor (2014).

3.3.2 Preparação das composições

Inicialmente, foram preparadas dezesseis (16) formulações com diferentes percentuais (%) mássicos, baseando-se no peso seco, utilizando o resíduo da ETE da retífica, caulim (malha 325 mesh), alumina (malha 325 mesh) e óxido de magnésio (malha 325 mesh). Em seguida, foram preparadas seis (6) composições utilizando o resíduo da ETE de retífica, engobe de muratura padrão e alumina (malha 325 mesh) de acordo com os percentuais (%) mássicos. E por último, foram preparadas mais onze (11) formulações com diferentes percentuais (%) mássicos utilizando o resíduo da ETE da retífica incorporado ao engobe de muratura padrão.

Todas as amostras foram preparadas com o auxílio de uma balança digital modelo Ohaus Adventurer de carga máxima 4100 g.

3.3.3 Preparação dos corpos-de-prova

Após a preparação das composições, todas as amostras foram homogeneizadas em um dispersador de laboratório (Figura 13) para posteriormente efetuar a queima em um forno industrial cerâmico.

Figura 13 - Dispersador.

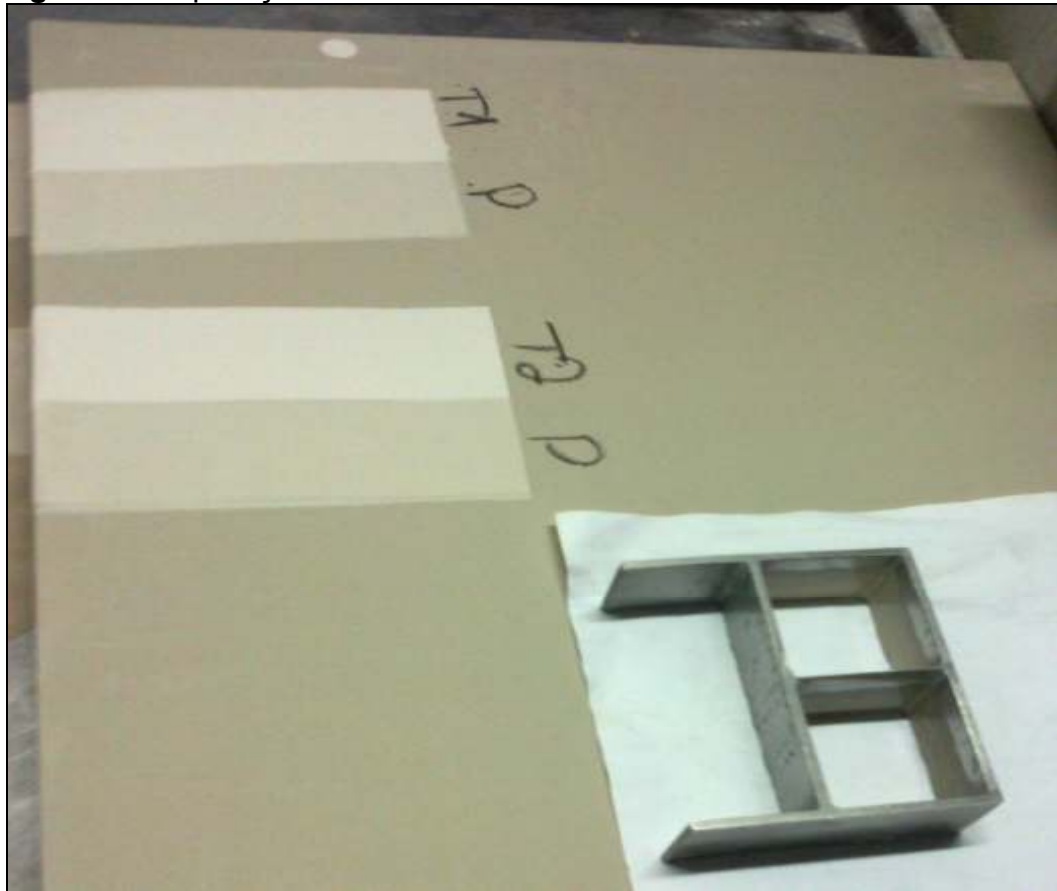


Fonte: Autor (2014).

3.3.4 Tratamento térmico

Depois de todas as amostras homogeneizadas, foram aplicadas as mesmas em uma peça cerâmica com o auxílio de um binil 0,3 mm (Figura 14). Todos os testes foram aplicados ao lado do engobe de muratura padrão (P) para facilitar a comparação dos resultados.

Figura 14 - Aplicação dos testes com binil.



Fonte: Autor (2014).

Em seguida, foram levadas as peças para tratamento térmico através da queima das amostras em um forno a rolo industrial (Barbieri & Tarozzi mod. 2650/148740) de 157 metros de comprimento, com ciclo total de queima de 37 minutos, a temperatura máxima de 1164 °C.

3.4 TESTES DE QUALIDADE

Foram feitos testes de qualidade nos corpos-de-prova, antes e após a queima, em conformidade ao engobe de muratura padrão utilizado no processo industrial.

Os testes de qualidade antes da queima são: densidade aparente; viscosidade; percentuais (%) de umidade e de resíduo; granulometria. Já, os testes após a queima são: resistência ao ataque químico; dilatação térmica; retração linear de queima; perda ao fogo; dureza aparente; e refratariedade.

Os testes de qualidade têm o objetivo de analisar os resultados físicos e químicos dos corpos-de-prova ensaiados.

3.4.1 Umidade

De acordo com Silva (2013), a determinação da umidade de matérias-primas se faz necessário para conhecimento da quantidade de água que estará entrando no moinho e/ou para determinação da quantidade de matéria-prima úmida que se deve colocar no moinho, tendo em vista adquirir o peso seco desejado, além de controle do consumo de matéria-prima.

A determinação do teor de umidade da matéria-prima foi realizada por meio da Equação 1 (Apêndice A). Foi realizado este ensaio de acordo com o procedimento interno “MT-012” utilizado pela cerâmica em estudo.

3.4.2 Percentual (%) de sólidos

É importante conhecer o percentual (%) de sólidos para poder determinar o peso seco das matérias-primas úmidas (SILVA, 2013).

Foi realizado este ensaio através da Equação 2 (Apêndice A) de acordo com o procedimento interno “MT-009” utilizado pela cerâmica em estudo.

3.4.3 Percentual (%) de resíduo

Silva (2013) enfatiza que o resíduo deve ser analisado com o objetivo de verificar se a moagem foi eficiente e se os moinhos se apresentam em boas condições de trabalho.

Este ensaio foi realizado através da Equação 3 (Apêndice A) de acordo com o procedimento interno “PO-050” utilizado pela cerâmica em estudo.

3.4.4 Densidade aparente

Segundo Silva (2013), a densidade aparente corresponde ao volume ocupado por uma determinada massa de sólido.

A variação da densidade pode ser devido a problemas de sedimentação da suspensão, evaporação, entrada de água, etc., e sua alteração implicam diretamente na viscosidade, sendo que é essencial para manter o consumo e aplicação de esmaltes dentro dos padrões evitando variação de tonalidade ou textura no produto acabado (SILVA, 2013).

O ensaio de densidade aparente foi feito por picnometria (picnômetro de 100 mL, Figura 15) conforme o procedimento interno “PO-050”, sendo calculado através da Equação 4 (Apêndice A).

Figura 15 - Picnômetro.



Fonte: Autor (2014).

3.4.5 Viscosidade

Conforme descreve Almeida et al., (2011), a viscosidade é a propriedade que descreve o comportamento de materiais fluidos como esmalte, tinta serigráfica e barbotina, que adquirem velocidade de fluxo como consequência de um esforço de cisalhamento. A viscosidade está relacionada a cinco variáveis: constituição físico-

química do material, temperatura, pressão, gradiente de velocidade e o tempo no qual o material é submetido.

Este ensaio foi realizado com o auxílio de um viscosímetro copo Ford nº 4 (Figura 16) de acordo com o procedimento “PO-050” utilizado pela cerâmica em estudo.

Figura 16 - Viscosímetro.



Fonte: Autor (2014).

3.4.6 Granulometria

É o procedimento que avalia a granulometria de partículas grossas como pedregulho, areia, bem como de aglomerados (pós-atomizados e grânulos preparados por via seca). Consiste na pesagem da amostra por uma série de peneiras padronizadas em ordem crescente de malha (ALMEIDA et al., 2011).

Este ensaio foi realizado com o auxílio do Granutest modelo Vibrotech CT-025 em peneiras com malhas 35, 60 e 100 mesh (Figura 17), conforme procedimento “PO-059”.

Figura 17 - Granutest.



Fonte: Autor (2014).

3.4.7 Retração linear de queima

Ensaio que avalia quantitativamente a redução das dimensões de um corpo-de-prova promovida pela queima. Em seguida, esses valores são aplicados numa fórmula (Equação 5 - Apêndice A) que determina a porcentagem de retração que o corpo-de-prova sofreu (ALMEIDA et al., 2011).

Foi utilizado um paquímetro para medir as dimensões dos corpos-de-prova antes e após a queima, seguindo o procedimento interno “MT-012”.

3.4.8 Perda ao fogo

De acordo com Almeida et al., (2011), este ensaio avalia a quantidade de massa que o corpo-de-prova perde durante a queima. A amostra é pesada numa balança, antes e após a queima, e, posteriormente, calcula-se a porcentagem de massa perdida (Equação 6 - Apêndice A).

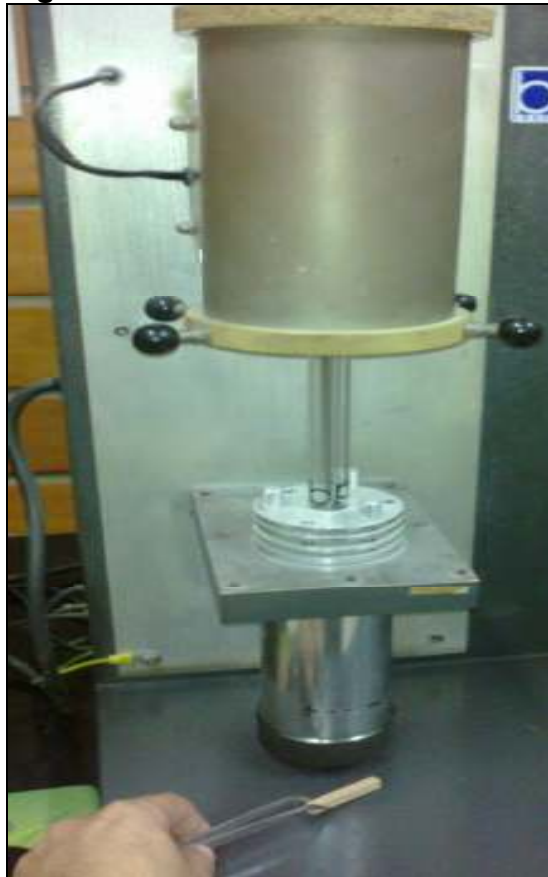
3.4.9 Dilatação térmica

A dilatação térmica está relacionada à variação dimensional reversível que o material apresenta quando submetido a uma variação de temperatura. Mais especificamente, o material aumenta de volume, ou se dilata, quando a temperatura aumenta e se contrai quando a temperatura decresce (SILVA, 2013).

Para Almeida et al., (2011), este ensaio indica o valor do coeficiente de dilatação térmica das placas cerâmicas. Após secagem em estufa a 110 °C, o corpo-de-prova é inserido em um dilatômetro, que mensura a expansão de suas dimensões à medida que promove o aumento da temperatura.

Foi realizado este ensaio com o auxílio de um dilatômetro modelo RD-3000-20 (Figura 18) a uma faixa de temperatura de 25 a 300 °C, seguindo o procedimento interno “MT-009”.

Figura 18 - Dilatômetro.



Fonte: Autor (2014).

3.4.10 Resistência ao ataque químico

Propriedade química relacionada à capacidade da superfície da placa cerâmica de não alterar sua aparência nem ser danificada quando em contato com produtos químicos. Está diretamente ligada à composição dos esmaltes, à temperatura e ao tempo de queima da placa cerâmica no forno (ALMEIDA et al., 2011).

A especificação do produto é através de nomenclaturas que se dividem de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3 - Nomenclatura dos produtos em relação ao ataque químico.

Superfície		Resistência aos Reagentes			Resistência Química		
G	U	-	L	H	A	B	C
Esmaltado	Sem esmalte	Pequena	Média	Alta	Mais elevada	Média	Mais baixa
			Concentração				

Fonte: Silva (2013).

As nomenclaturas “G” e “U” significam superfície esmaltada e sem esmalte, respectivamente. Já, “L” e “H” significam resistência aos reagentes de média e alta concentração, respectivamente. Por último, “A”, “B” e “C” significam, respectivamente, mais elevada, média e mais baixa resistência química (SILVA, 2013).

Foi utilizado neste ensaio ácido cítrico a 100 g/l, ácido clorídrico a 3% e hidróxido de potássio a 30 g/l, conforme o procedimento interno “MT-014”.

3.4.11 Dureza aparente

Segundo Almeida et al., (2011), este ensaio avalia a resistência ao risco da placa cerâmica. Foi realizado este ensaio seguindo como parâmetro a escala Mohs de dureza (Tabela 4).

Tabela 4 - Escala Mohs.

Minerais	Dureza Mohs
Talco	1
Gipsita	2
Calcita	3
Fluorita	4
Apatita	5
Feldspato	6
Quartzo	7
Topázio	8
Coríndon	9
Diamante	10

Fonte: Silva (2013).

O ensaio é executado por um operador que pressiona manualmente o mineral com esforço uniforme sobre a superfície da peça. Esta operação é realizada com cada um dos minerais, em ordem crescente de dureza, até que possa ser visível o risco causado pelo mineral sobre a superfície da peça que, por consequência, possui uma dureza maior que a da peça testada (SILVA, 2013).

3.4.12 Refratariedade

É a capacidade que possuem alguns materiais de resistirem à temperatura acima de 1435 °C sem se deformarem e sem perderem suas propriedades de baixa condutividade térmica e elétrica (ALMEIDA et al., 2011).

Após a queima, foi analisado visualmente a refratariedade dos testes em comparação ao engobe de muratura usado na empresa. Se os testes não fundirem na peça cerâmica, o material é considerado refratário, caso contrário, é considerado fundente.

3.4.13 Análise superficial dos resultados

Depois da queima dos testes, efetuam-se a liberação das matérias-primas através de ensaios laboratoriais e visuais dos testes em comparação com o produto

padrão. Em relação ao engobe de muratura, foi analisada a dureza aparente e a refratariedade.

O engobe de muratura tem que ser refratário, ou seja, deve resistir às altas temperaturas e não fundir na peça cerâmica e também deve ter dureza aparente mínima, sendo facilmente removido ou riscado com a unha.

Estes ensaios foram realizados baseando-se no procedimento interno “MT-011”.

3.5 ESTIMATIVA DE CUSTO

Esta etapa consistiu-se na análise da viabilidade econômica da melhor formulação desenvolvida do resíduo da ETE da retífica incorporado ao engobe de muratura padrão.

Demonstra-se também, o quanto é possível economizar em uma cerâmica de revestimentos com a utilização do resíduo da ETE na composição do engobe de muratura. Vale salientar que, utilizando este resíduo, um menor impacto ambiental será gerado tanto para a área de aterro industrial quanto na área de empréstimo (extração de material argiloso), pois através do reaproveitamento há um menor consumo de matéria-prima.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

Neste capítulo serão discutidos os resultados dos ensaios laboratoriais e análises químicas e mineralógicas do resíduo sólido da ETE de retífica e do engobe de muratura padrão. Também consta uma estimativa de custos da melhor formulação estudada.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS

4.1.1 Ensaio laboratoriais

Os ensaios laboratoriais realizados, antes da queima, nas amostras do resíduo sólido da ETE de retífica e no engobe de muratura padrão encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5 – Ensaio laboratoriais antes da queima.

Ensaio	Engobe de Muratura Padrão	Resíduo ETE Retífica
Densidade (g/cm ³)	1,57	1,76
Viscosidade (s)	15	-
Resíduo malha 325 mesh (%)	8,3	5,2
Umidade (%)	44,9	28,86
Percentual de sólidos (%)	55,1	71,14
Granulometria (%)	Malha 35 mesh	3,85
	Malha 60 mesh	71,56
	Malha 100 mesh	21,43
	Malha > 100 mesh	3,16

Fonte: Autor (2014).

Vale ressaltar que não foi possível medir a viscosidade do resíduo da ETE da retífica pelo viscosímetro copo Ford nº 4. A amostra não escoou pelo equipamento, deste modo, foi adicionado água para facilitar a dispersão, diminuir a densidade e viscosidade, ficando de acordo com a amostra padrão.

O percentual (%) de resíduo retido em malha 325 do resíduo da ETE deu menor que o do engobe de muratura padrão, indicando que não há necessidade de moagem do resíduo, deste modo, economizando no custo de energia e produção.

Em relação à granulometria, há semelhanças nos percentuais (%) de resíduo retido nas malhas 60 e maior que 100 mesh, apresentando maior variação nas malhas 35 e 100 mesh.

Quanto mais fina for a granulometria da massa cerâmica, maior será a reatividade entre as partículas durante a sinterização. De fato uma boa reatividade entre as partículas irá favorecer as reações físico-químicas em alta temperatura para formação de novas fases cerâmicas e densificação do corpo cerâmico (SAMPAIO; PINHEIRO; HOLANDA, 2007).

A granulometria é controlada para evitar possíveis oscilações que venham a prejudicar o processo produtivo, sendo que uma granulometria excessivamente grossa ocasiona: baixa resistência a cru e a seco; defeitos geométricos; maior retração linear; menor compactação. Já, granulometria excessivamente fina ocasiona: esfolheamento na prensagem; baixa fluidez; maior compactação; tendência a formar coração negro (SILVA, 2013).

Os ensaios laboratoriais realizados, após a queima, nas amostras do resíduo sólido da ETE de retífica e no engobe de muratura padrão encontram-se na Tabela 6.

Tabela 6 – Ensaios laboratoriais após a queima.

Ensaio	Engobe de Muratura Padrão	Resíduo ETE Retífica
Dureza aparente	1	5
Dilatação térmica ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)	70×10^{-7}	$64,44 \times 10^{-7}$
Retração linear (%)	0,99	6,31
Perda ao fogo (%)	21,52	2,32

Fonte: Autor (2014).

Analisando os dados da Tabela 6 é possível verificar que o resíduo da ETE da retífica apresenta dureza 5, sendo considerado muito mais duro do que o engobe de muratura, já que este apresenta dureza mínima, podendo ser facilmente riscado com a unha, deste modo, para diminuir a dureza do resíduo da ETE de retífica, recomenda-se adicionar matérias-primas com característica mole na sua composição.

Vale destacar também o valor da retração linear do resíduo da ETE da retífica, que apresentou uma retração maior do que o engobe de muratura padrão.

Quanto maior for a quantidade de material que se fundiu e menor a viscosidade do líquido formado, maior será a retração (DE MARAES, 2007).

Dias et al., (2004) diz que o ensaio de perda ao fogo fornece informações relativas à presença de matéria orgânica e substâncias voláteis no material amostrado. Deste modo, quanto maior a presença de matéria orgânica na amostra, maior vai ser o valor de perda ao fogo. Pelo fato do resíduo da ETE da retífica já ter passado pelo processo de queima, provavelmente já foi eliminado grande parte da matéria orgânica nesta etapa, tendo como resultado menor índice de perda ao fogo em comparação ao engobe de muratura padrão.

4.1.2 Caracterização química

As análises químicas foram realizadas nas amostras do engobe de muratura padrão e no resíduo sólido da ETE da retífica.

Quanto à resistência ao ataque químico, ambas as amostras são classificadas como UC pelo fato de serem aplicadas em uma superfície não esmaltada, com resistência aos reagentes de pequena concentração e resistência química mais baixa. Para Almeida et al., (2011), este fato está diretamente ligado à composição das matérias-primas, à temperatura e ao tempo de queima da placa cerâmica no forno. Os resultados de Fluorescência de Raios-X encontram-se na Tabela 7.

Segundo Nesi (2011), a análise da composição química do resíduo da ETE de retífica mostra a composição típica de uma mistura das fritas mais utilizadas na indústria cerâmica, com presença majoritária de sílica (SiO_2) e alumina (Al_2O_3), e de óxidos alcalinos (K_2O e Na_2O) e alcalino-terrosos (MgO e CaO), além de contaminantes como os óxidos de ferro (Fe_2O_3) e titânio (TiO_2).

Cabe ressaltar que os elementos que aparecem em maior concentração no engobe de muratura padrão são a alumina (Al_2O_3) e óxido de magnésio (MgO). Conforme cita Almeida et al., (2011), estas são matérias-primas refratárias comuns na composição de engobe de muratura.

Tabela 7 - Análise de fluorescência de raios-x.

Composição Química	Resíduo ETE Retífica (%)	Engobe de Muratura Padrão (%)
SiO ₂	55,13	4,83
Al ₂ O ₃	16,44	21,26
Fe ₂ O ₃	1,87	1,04
TiO ₂	0,52	0,02
CaO	4,63	6,83
BaO	0,08	0,04
MgO	2,77	35,19
Na ₂ O	0,98	0,17
K ₂ O	1,96	0,01
ZnO	< 0,01	< 0,01
ZrO ₂	< 0,01	< 0,01
SrO	< 0,01	< 0,01
PbO	< 0,01	< 0,01
P ₂ O ₅	0,08	0,02

Fonte: Torrecid (2014), adaptado pelo autor (2014).

Para De Moraes (2007), a dilatométrica óptica é uma técnica que avalia o comportamento de um material em função das temperaturas as quais são submetidas durante o processo de aquecimento imposto.

O comportamento térmico das amostras do engobe de muratura padrão e do resíduo da ETE da retífica foram determinados pelo ensaio de dilatométrica óptica com taxa de aquecimento de 40 °C/min a 1500 °C.

Os resultados encontram-se na Tabela 8 e nos Anexos A e B.

Tabela 8 - Dilatométrica óptica.

Módulo	Resíduo ETE Retífica	Engobe de Muratura Padrão
Sinterização (°C)	1152	1326
Amolecimento (°C)	1198	-
Esfera (°C)	1370	-
Meia esfera (°C)	1410	-
Fusão (°C)	1434	-

Fonte: IDT (2014), adaptado pelo autor (2014).

Sinterização pode ser definida como um processo físico, termicamente ativado, que faz com que um conjunto de partículas de determinado material, inicialmente em contato mútuo, adquira resistência mecânica (DA SILVA; JÚNIOR, 1998).

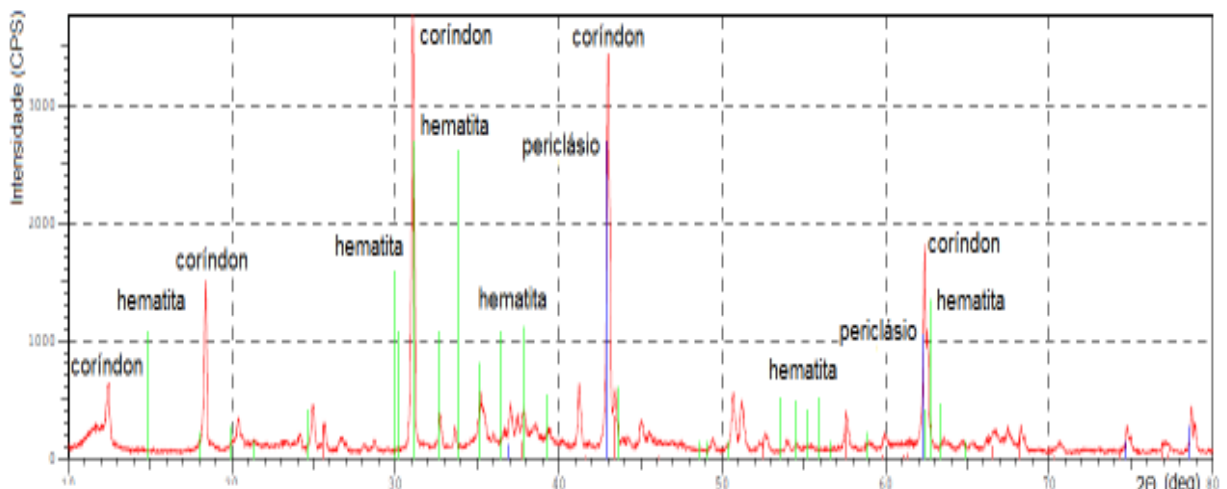
Analisando-se os resultados do ensaio de dilatométrica óptica, Tabela 8, percebe-se que o engobe de muratura padrão possui temperatura de sinterização mais elevada, sendo assim, mais refratário que o resíduo da ETE de retífica.

4.1.3 Caracterização mineralógica

A técnica de difratometria por raios-x, segundo Dias et al., (2004), consiste em determinar as distâncias mantidas pelos íons ou átomos formadores dos cristais (distância interplanares), através do conhecimento do ângulo formado pelo feixe de raios-x incidente e o plano atômico e difrato, como também do conhecimento do comprimento de onda desses raios, ou seja, identifica as estruturas cristalinas dos materiais, sendo possível avaliar com mais precisão a composição química dos resíduos.

Na Figura 19 são demonstradas as fases cristalinas identificadas antes da queima do engobe de muratura padrão: coríndon (Al_2O_3 , cartão n° 10-0173), hematita (Fe_2O_3 , cartão n° 40-1139) e periclásio (MgO , cartão n° 45-0946).

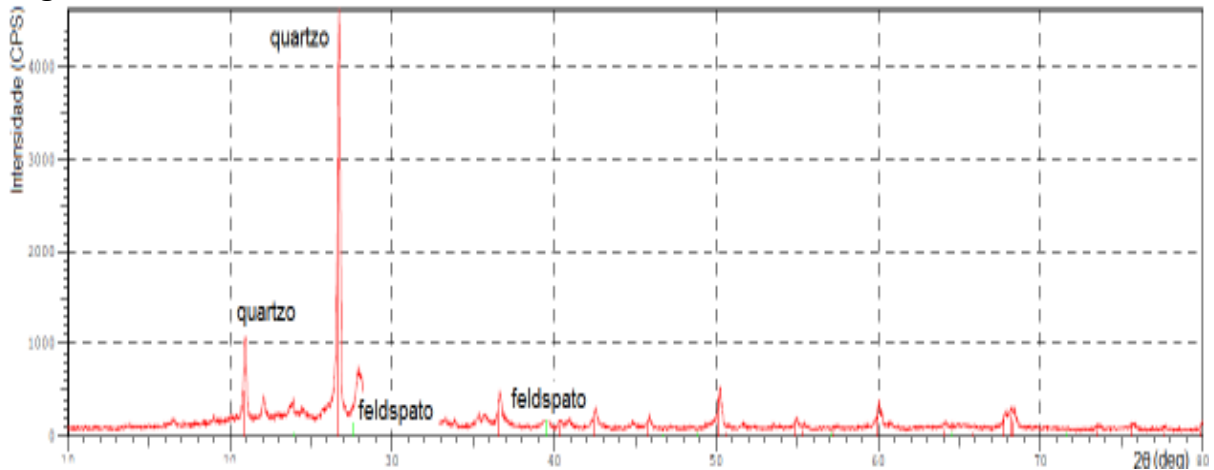
Figura 19 - DRX do engobe de muratura padrão.



Fonte: IDT (2014), adaptado pelo autor (2014).

A Figura 20 apresenta as seguintes fases cristalinas encontradas após a queima do resíduo da ETE de retífica: quartzo (SiO_2 , cartão n° 46-1045) e feldspato (K_2O , cartão n° 23-0493).

Figura 20 - DRX do resíduo sólido da ETE de retífica.



Fonte: IDT (2014), adaptado pelo autor (2014).

Analisando as Figuras 19 e 20, percebe-se que no engobe de muratura padrão há presença majoritária das fases cristalinas de coríndon, hematita e periclásio identificados com os maiores picos de intensidade. Já, no resíduo sólido da ETE de retífica, a difração de raios-x mostrou a presença de fases cristalinas predominantemente formadas por quartzo e feldspato.

Outros elementos não aparecem nos ensaios de DRX por já estarem nas fases vítreas.

4.2 RESULTADOS DOS ENSAIOS DAS FORMULAÇÕES

Inicialmente, foram preparadas formulações com diferentes percentuais (%) mássicos, baseando-se no peso seco, utilizando o resíduo da ETE da retífica e matérias-primas refratárias, tais como: caulim (malha 325 mesh), alumina (malha 325 mesh) e óxido de magnésio (malha 325 mesh), conforme a Tabela 9.

Tabela 9 - Composições utilizando percentuais (%) mássicos de resíduo da ETE, caulim, alumina e óxido de magnésio.

Teste	Resíduo ETE (%)	Caulim (%)	Alumina (%)	Óxido Magnésio (%)
1	80	5	15	-
2	80	15	5	-
3	70	20	10	-
4	70	10	20	-
5	60	30	10	-
6	60	10	30	-
7	50	30	20	-
8	50	20	30	-
9	50	25	25	-
10	40	30	30	-
11	80	-	10	10
12	70	-	15	15
13	60	-	20	20
14	60	-	30	10
15	60	-	10	30
16	50	-	25	25

Fonte: Autor (2014).

Nenhuma das formulações (Tabela 9) ensaiadas apresentaram resultados positivos, uma vez que todas foram reprovadas nos quesitos preliminares de dureza aparente e refratariedade, tendo comportamento fundente e não apresentando dureza aparente mínima necessárias para a liberação do material.

Insatisfeito com estes resultados, optou-se por aplicar as matérias-primas caulim, alumina e óxido de magnésio sobre uma peça cerâmica e efetuou-se a queima a 1164 °C para avaliar os seus comportamentos. Somente a alumina apresentou característica refratária, o caulim e o óxido de magnésio fundiram-se na peça, provavelmente estas não são matérias-primas puras e de boa qualidade. Portanto, foi descartado o uso destes materiais nas formulações, sendo utilizada apenas a alumina nos outras composições formuladas (Tabela 10).

Tabela 10 - Composições utilizando percentuais (%) mássicos de resíduo da ETE, engobe de muratura e alumina.

Teste	Resíduo ETE (%)	Engobe de Muratura Padrão (%)	Alumina (%)
1	20	70	10
2	30	60	10
3	40	50	10
4	40	40	20
5	50	30	20
6	40	30	30

Fonte: Autor (2014).

Novamente, nenhum resultado atendeu as características de liberação, porém os testes 4, 5 e 6 ficaram refratários, mas não atingiram a dureza aparente mínima necessária.

Por último, foram preparadas amostras com diferentes percentuais (%) mássicos utilizando o resíduo sólido da ETE da retífica incorporado ao engobe de muratura padrão (Tabela 11).

Tabela 11 - Composições utilizando percentuais (%) mássicos de resíduo da ETE incorporado ao engobe de muratura.

Teste	Engobe de Muratura Padrão (%)	Resíduo ETE (%)
1	10	90
2	20	80
3	30	70
4	40	60
5	50	50
6	60	40
7	70	30
8	75	25
9	80	20
10	85	15
11	90	10

Fonte: Autor (2014).

As formulações da Tabela 11 apresentaram resultados satisfatórios. Sendo que até 20 % do resíduo da ETE de retífica incorporado ao engobe de muratura padrão atende as características técnicas de liberação do produto. Como teste de qualidade, foram verificadas apenas a dureza aparente e a refratariedade da composição aprovada (20% resíduo da ETE + 80% engobe de muratura), já que os demais testes não são realizados pela empresa e necessários para a liberação do produto.

4.3 ANÁLISES DE CUSTOS

A estimativa de custos levou em consideração o peso seco das matérias-primas.

De acordo com os dados levantados na empresa em estudo, foi possível verificar que a mesma consome cerca de 2.000 kg de engobe de muratura por mês, a um custo de R\$ 1,82 / kg, totalizando R\$ 3.440,00 / mês. Consome também, cerca

de 5.500 t/mês de matérias-primas no setor de preparação de massa, sendo que 2% do resíduo sólido da ETE de retífica são adicionados nesse processo.

A ETE de retífica gera, em média, 115 t/mês de resíduo sólido, das quais 110 t são incorporadas no processo de preparação de massa, sobrando 5 t/mês destinada a um aterro industrial em Blumenau/SC. O gasto com disposição é de R\$ 220,00 / t, além de R\$ 950,00 com frete considerando uma carga de 15 toneladas, deste modo, a cada 3 meses é encaminhado um caminhão para o aterro, tendo um custo de disposição de R\$ 17.000,00 / ano.

De acordo com o trabalho realizado por Casagrande (2008), esses subprodutos podem ser reutilizados diretamente ou aproveitados como matéria-prima no processo industrial.

Finalmente, no sentido de demonstrar a viabilidade econômica deste trabalho, apresenta-se na Tabela 12, uma estimativa do quanto a empresa em questão gasta com a geração do resíduo da ETE de retífica, sem contar o impacto ambiental proporcionado pelo seu descarte e redução da vida útil do aterro.

Consta ainda, uma demonstração do quanto é possível economizar em uma cerâmica de revestimentos com a utilização de até 20% de resíduo sólido da ETE de retífica na composição do engobe de muratura.

Vale-se salientar, que utilizando este resíduo, um menor impacto ambiental será gerado tanto para a área de aterro industrial quanto na área de extração de argila, pois com o reaproveitamento há um menor consumo de matéria-prima.

Tabela 12 - Resultados da incorporação de 20% do resíduo da ETE de retífica no engobe de muratura.

Dados	Situação atual	Incorporação de 20 % do resíduo no engobe de muratura	Redução	Economia
Consumo do engobe de muratura	2000 kg/mês ou 24.000 kg/ano	1.600 kg/mês ou 19.200 kg/ano	400 kg/mês ou 4.800 kg/ano	20 %
Custo do engobe de muratura consumido	R\$ 3.640,00/mês ou R\$ 43.680,00/ano	R\$ 2.912,00/mês ou R\$ 34.944,00/ano	R\$ 728,00/mês ou R\$ 8.736,00/ano	20%
Sobra de resíduo na ETE de retífica	5.000 kg/mês ou 60.000 kg/ano	4.600 kg/mês ou 55.200 kg/ano	400 kg/mês ou 4.800 kg/ano	8 %
Custo de disposição em aterro industrial	4 caminhões/ano = R\$ 17.000,00	3,68 caminhões/ano = R\$ 15.640	R\$ 1.360,00/ano	8 %

Fonte: Autor (2014).

5 CONCLUSÃO

No presente trabalho, investigou-se o potencial de uso de resíduo da ETE do setor de retífica como material de substituição parcial do engobe de muratura na aplicação das peças cerâmicas. Dentro do escopo deste trabalho, as seguintes conclusões puderam ser extraídas a partir dos resultados:

- O resíduo da ETE apresenta dureza aparente 5 sendo considerado muito mais duro em relação ao engobe de muratura padrão (dureza 1). Assim, faz-se necessário adicionar ao resíduo de ETE matérias-primas com característica “mole” para diminuir a sua dureza;
- A análise de fluorescência de raios-x permitiu identificar uma quantidade de 55,13 % de SiO_2 no resíduo de ETE contra 4,83% no engobe de muratura padrão;
- A caracterização mineralógica do engobe de muratura padrão indica a presença de fases cristalinas de coríndon, hematita e periclásio, enquanto que no resíduo da ETE mostrou a presença de fases cristalinas de quartzo e feldspato;
- As formulações ensaiadas com adição de caulim, alumina e óxido de magnésio incorporado ao resíduo de porcelanato esmaltado da ETE de retífica, em diferentes proporções, não atenderam aos testes de dureza aparente e refratariedade;
- Os ensaios incorporando alumina no resíduo de ETE e no engobe de muratura, não atenderam ao teste de dureza aparente, apenas é refratária nas proporções com 20 a 30% de alumina;
- A incorporação de até 20% de resíduo da ETE no engobe de muratura não acarretou alterações significativas nas condições de processamento e características do produto final, atendendo aos testes de dureza aparente e refratariedade.

Seguindo a proposta da P+L, esta solução de reuso constitui em um recurso interessante de reaproveitamento do resíduo da ETE, evitando despesas de transporte e disposição em aterro industrial, reduzindo o consumo de recursos minerais e naturais.

Cabe ressaltar que, com o reaproveitamento do resíduo sólido da ETE, há uma redução de 20% no custo do engobe de muratura e 8% deste resíduo deixa de ser depositado em aterro, contribuindo assim, com a minimização do impacto ambiental e custos da empresa.

Os resultados de laboratório comprovam a viabilidade técnica e econômica da utilização do resíduo sólido da ETE de retífica na composição do engobe de muratura nos percentuais de até 20%.

No campo das recomendações para trabalhos futuros, sugere-se:

- Realizar, em escala industrial, o uso de 20 % do resíduo sólido da ETE de retífica incorporado ao engobe de muratura padrão;
- Efetivação do seu uso em escala industrial;
- Verificar, junto aos fornecedores, outras matérias-primas para compor uma nova formulação de engobe de muratura;
- Estudar outra forma de reaproveitamento do resíduo sólido da ETE de retífica, a fim de ser reutilizado em maiores proporções (100 %);
- Realizar novas análises químicas do resíduo da ETE de retífica para melhor caracterizá-lo e estudá-lo.
- Realizar ensaio de classificação do resíduo sólido da ETE de retífica.

REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10004**. Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004. 71 p.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13817**. Placas cerâmicas para revestimento: Classificação. Rio de Janeiro, 1997.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13818**. Placas cerâmicas para revestimento: Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 1997.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 14001**. Sistemas de Gestão Ambiental: Especificação e diretrizes para uso. Rio de Janeiro, 1996.

ALMEIDA, G. M. de B. et al. **Glossário de Revestimentos Cerâmicos**. Cadernos de Terminologia, n. 04, p. 03-56, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. **Cerâmica no Brasil**. Considerações Gerais. Disponível em: <<http://www.abceram.org.br/site/index.php?area=2>>. Acesso em: 10 mar. 2014.

BRASIL. Decreto - Lei nº 1.413. Dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente provocada por atividades industriais. 1975. Disponível em: <<http://legis.senado.gov.br/legislacao/ListaPublicacoes.action?id=122915>>. Acesso em: 01 maio 2014.

BRASIL. Lei nº 6.938. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. 1981. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm>. Acesso em: 01 maio 2014.

BRASIL. Lei nº 9.605. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente. 1998. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm>. Acesso em: 01 maio 2014.

BRASIL. Lei nº 12.305. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 28 abr. 2014.

CASAGRANDE, M.C. et al. Reaproveitamento de resíduos sólidos industriais: Processamento e aplicações no setor cerâmico. São Paulo: **Cerâmica Industrial**, v.13, n.1/2, p.34-37, 2008.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Guia técnico ambiental da indústria de cerâmica branca e de revestimento** - Série P+L. São Paulo, 2008. 83 p.

DA SILVA, A. G. P.; JÚNIOR, C. A. A sinterização rápida: sua aplicação, análise e relação com as técnicas inovadoras de sinterização. **Cerâmica**, São Paulo, v. 44, n. 290, nov./dez. 1998.

DE MORAES, M. L. V. N. **Aproveitamento de resíduo de beneficiamento do caulim na produção de porcelanato cerâmico**. Tese de doutorado (Ciência e Engenharia de Materiais), Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, UFRN, Natal, 2007.

DIAS et al. **Alternativa de destinação final do lodo de estação de Tratamento de água** - fabricação de blocos cerâmicos. Goiânia-GO, 2004. 23 p.

FUJITA, H. et al. Contribuição ao estudo da retificação abrasiva de materiais cerâmicos. **Cerâmica**, São Paulo, v. 52, 2006, p. 269 – 275.

JUNIOR, L. A.; ROCHA, F. **Legislação Ambiental: marco inicial da jornada rumo ao desenvolvimento sustentável**. São Paulo, 2010. 10 p.

MASSIMA REVESTIMENTOS CERÂMICOS. **Método de teste MT-09: ensaios realizados no LDE**. Urussanga – SC, rev. 03, 2014. 3 p.

MASSIMA REVESTIMENTOS CERÂMICOS. **Método de teste MT-11: análise dos resultados visuais e físicos**. Urussanga – SC, rev. 03, 2014. 1 p.

MASSIMA REVESTIMENTOS CERÂMICOS. **Método de teste MT-012: laboratório de massa**. Urussanga - SC, rev. 02, 2014. 9 p.

MASSIMA REVESTIMENTOS CERÂMICOS. **Método de teste MT-014: ensaios realizados no laboratório de qualidade**. Urussanga – SC, rev. 01, 2014. 6 p.

MASSIMA REVESTIMENTOS CERÂMICOS. **Procedimento operacional PO-050: controle de densidade, viscosidade e resíduo de engobes, esmaltes e tintas**. Urussanga – SC, rev. 06, 2014. 2 p.

MASSIMA REVESTIMENTOS CERÂMICOS. **Procedimento operacional PO-059: atomizador**. Urussanga – SC, rev. 05, 2014. 5 p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Resolução Conama nº 313**. Brasília, 2002.

NESI, Giovanni. **Desenvolvimento de placas cerâmicas para revestimento de baixa densidade**. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Cerâmica), Curso de Tecnologia em Cerâmica, Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, Criciúma, 2011.

REVISTA MUNDO CERÂMICO. **Tendências**, São Paulo, n. 173, p. 14-17, nov./dez. 2013.

SAMPAIO, V. G.; PINHEIRO, B. C. A.; HOLANDA, J. N. F. Granulação a seco de uma massa cerâmica para grês porcelanato. **Cerâmica**, São Paulo, v. 53, n. 327, jul./set. 2007.

SANTA CATARINA. Lei nº 13.557. Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos e adota outras providências. 2005. Disponível em: <http://www.carvaomineral.com.br/abcm/meioambiente/legislacoes/bd_carboniferas/residuo/lei_estadual_13557-2005.pdf>. Acesso em: 01 maio 2014.

SANTOS, Pécisio de Souza. **Ciência e tecnologia de argilas**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1989, v. 1. 499 p.

SCHALCH, V. **Curso sobre gerenciamento de resíduos sólidos**. São Carlos: EESC/USP, 1994.

SENAI. **Cinco fases da implantação de técnicas de produção mais limpa**. Porto Alegre - RS, 2003. 95 p.

SILVA, Ederson da. **Curso de processo de fabricação cerâmica**. Urussanga - SC, 2013. 63 p.

VELHO, P. L. T.; BERNARDIN, A. M. Reaproveitamento de Lodo de ETE para Produção Industrial de Engobes. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, p. 20-23, 2011.

WERNER, E. de M.; BACARGI, A. G.; HALL, R. J. **Produção Mais Limpa: Conceitos e Definições Metodológicas**. SEGeT - Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, Mato Grosso do Sul, 2009. 15 p.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Equações**Equação da umidade *in natura***

[01]

$$U (\%) = \frac{(m_u - m_s)}{m_u} \times 100$$

Onde:

U = umidade (%)

 m_u = massa úmida (g) m_s = massa seca (g)

$$U (\%) = \frac{(m_u - m_s)}{m_u} \times 100$$

Equação do percentual de sólidos

[02]

$$S (\%) = \frac{m_s}{m_u} \times 100$$

Onde:

S (%) = percentual de sólidos

 m_u = massa úmida (g) m_s = massa seca (g)**Equação do percentual de resíduo**

[03]

$$R (\%) = m_s \div D \div S (\%)$$

Onde:

R (%) = percentual de resíduo

 m_s = massa seca (g)D = densidade aparente (g/cm³)

S (%) = percentual de sólidos

Equação da densidade aparente

[04]

$$D = m \div v$$

Onde:

D = densidade aparente (g/cm³)

m = massa (g)

v = volume (cm³)**Equação da retração linear de queima**

[05]

$$Rlq = \frac{D_1 - D_2}{D_1} \times 100$$

Onde:

Rlq = retração linear de queima (%)

D₁ = dimensão antes da queima (mm)D₂ = dimensão após a queima (mm)**Equação da perda ao fogo**

[06]

$$Pf = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100$$

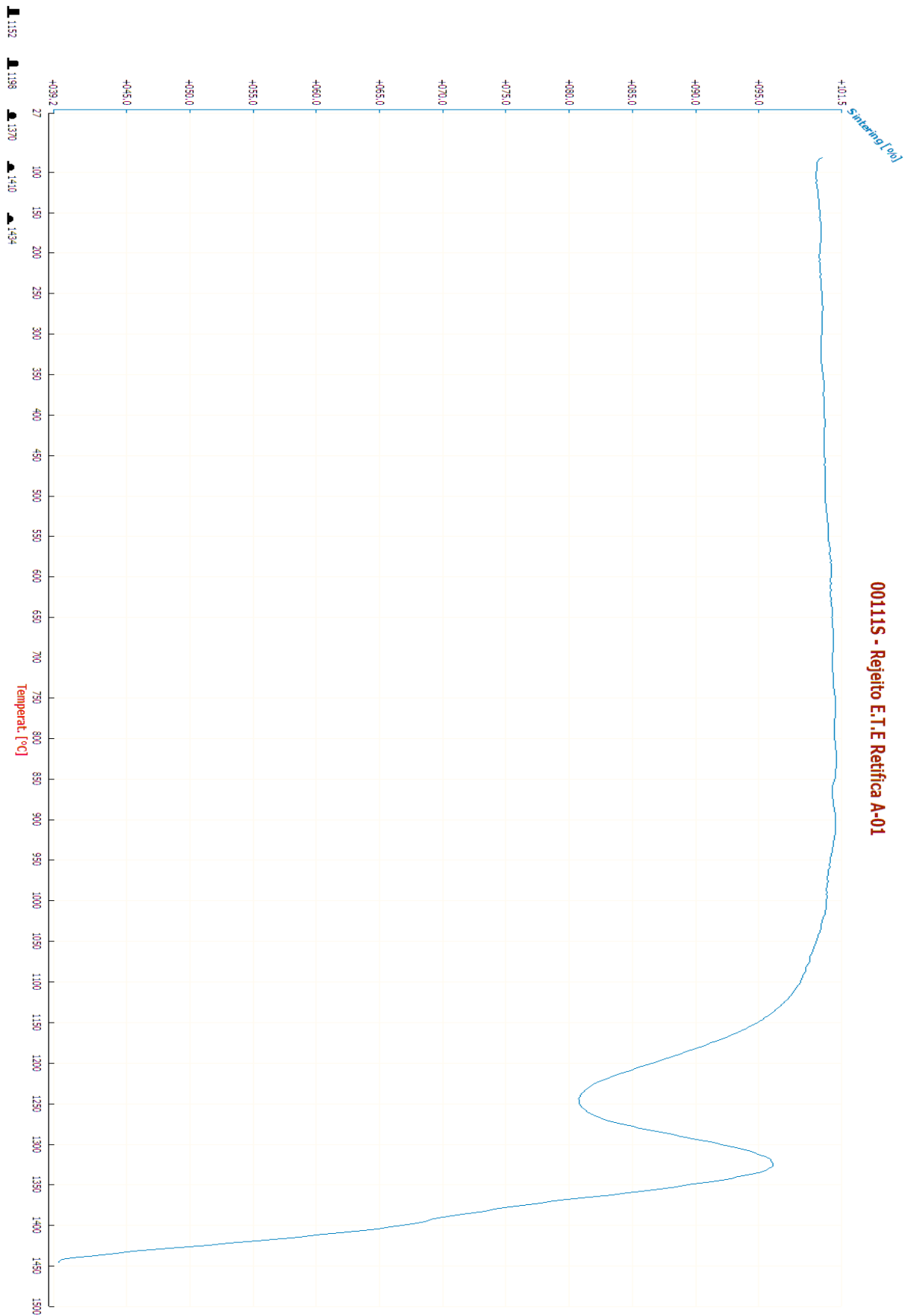
Onde:

Pf = perda ao fogo (%)

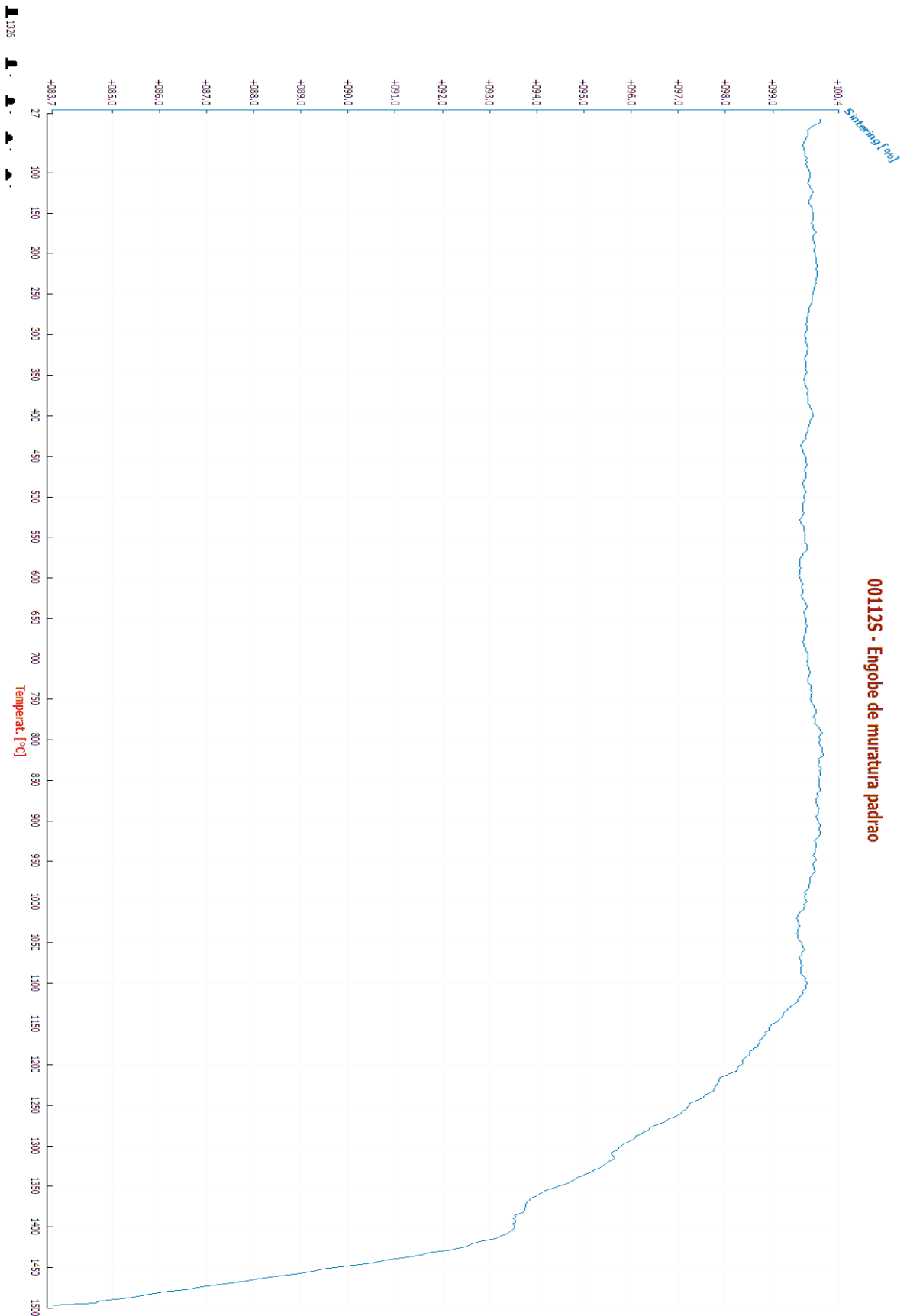
P₁ = peso inicial (g)P₂ = peso final (g)

ANEXOS

ANEXO A – Sinterização do rejeito da ETE de retífica.



ANEXO B – Sinterização do engobe de muratura padrão.



ANEXO C – Análises de caracterização e classificação de resíduos sólidos.



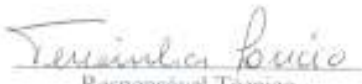

Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC
 Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - IPAT
 Laboratório de Análises de Solo e Fertilizantes

RELATÓRIO DE ENSAIO N°: 217/2005		Página 2 de 3		
RESULTADOS DOS ENSAIOS				
CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO RESÍDUO ANALISADO				
Aspecto: Sólido (Lado)				
Cor: Cinza				
Odor: Solvente				
Densidade: 1,8 g/cm ³				
Umidade: 27 % a 42 °C				
pH em água (1:1): 8,35				
ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO				
PARÂMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	LIMITE MÁXIMO NO LIXIVIADO	L. Q.
Arsênio	(mg/L)	ND	1,0	0,001
Bário	(mg/L)	118,0	70,0	0,1
Cádmio	(mg/L)	ND	0,5	0,01
Chumbo	(mg/L)	0,58	1,0	0,01
Cromo Total	(mg/L)	ND	5,0	0,02
Fluoreto	(mg/L)	9,1	150,0	0,1
pH Inicial	NA	8,7	NA	0,1
pH Final	NA	5,4	NA	0,1
Tempo de Lixiviação	Hora	18	18 ± 2	NA
Volume Lixiviado	mL	550	NA	NA
ENSAIO DE SOLUBILIZAÇÃO				
PARÂMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	LIMITE MÁXIMO NO EXTRATO	L. Q.
Alumínio	(mg/L)	0,2	0,2	0,05
Arsênio	(mg/L)	ND	0,01	0,001
Bário	(mg/L)	7,4	0,7	0,1
Cádmio	(mg/L)	ND	0,005	0,01
Chumbo	(mg/L)	ND	0,01	0,01
Cloretos	(mg/L)	13,6	250,0	0,1
Cromo Total	(mg/L)	ND	0,05	0,02
Fenóis Totais	(mg/L)	ND	0,01	0,1
Ferro	(mg/L)	ND	0,3	0,02
Fluoreto	(mg/L)	8,7	1,5	0,1



Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC
 Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - IPAT
 Laboratório de Análises de Solo e Fertilizantes

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 217/2005			Página 3 de 3	
ENSAIO DE SOLUBILIZAÇÃO				
PARÂMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	LIMITE MÁXIMO NO EXTRATO	L. Q.
Manganês	(mg/L)	ND	0,1	0,01
Sódio	(mg/L)	27,5	200,0	0,01
Sulfato (expresso em SO ₄)	(mg/L)	13,4	250,0	2
Surfactantes	(mg/L)	ND	0,5	0,1
Zinco	(mg/L)	0,12	5,0	0,01
pH inicial	NA	7,8	NA	0,1
pH final	NA	7,8	NA	0,1
Observações: - ND = Não Detectado - NA = Não Aplicável - LQ = Limite de Quantificação - Os parâmetros acima analisados foram solicitados pelo Cliente.				
RESULTADOS DOS ENSAIOS: Lixiviado: O parâmetro bário analisado ultrapassou o limite máximo permitido. Limite constante no anexo F da ABNT NBR 10004:2004. Solubilizado: Os parâmetros analisados bário e fluoreto ultrapassaram os limites máximos permitidos. Limites constantes no anexo G da ABNT NBR 10004:2004				
CONCLUSÃO: CLASSIFICAÇÃO: RESÍDUO CLASSE I – PERIGOSO. Devido aos resultados obtidos no decorrer dos ensaios realizados (lixiviação e solubilização), o resíduo analisado (Resíduo de Esmalte) é classificado como Classe I – Perigoso , segundo a ABNT NBR 10004:2004, nos parâmetros analisados.				

Criciúma, 04 de julho de 2005.				
 Responsável Técnico Química Teresinha Lúcio CRQ 13200109		 Executor dos Ensaios Químico João Oto Schmitz Junior CRQ 13100288		
Os resultados apresentados no presente relatório se aplicam somente à amostra ensaiada.				