

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE – UNESC
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

GUILHERME ADRIANO BARBOSA

**DIAGNÓSTICO DAS FONTES DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS ORIUNDAS DO
PROCESSO PRODUTIVO EM UMA INDÚSTRIA DE REVESTIMENTOS
CERÂMICOS**

CRICIÚMA, 2016

GUILHERME ADRIANO BARBOSA

**DIAGNÓSTICO DAS FONTES DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS ORIUNDAS DO
PROCESSO PRODUTIVO EM UMA INDÚSTRIA 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.

Orientadora: Prof.^a Paula Tramontim Pavei

CRICIÚMA, 2016

GUILHERME ADRIANO BARBOSA

**DIAGNÓSTICO DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS ORIUNDAS DO PROCESSO
PRODUTIVO EM UMA INDÚSTRIA 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, com linha de pesquisa em Controle de Poluição do Ar.

Criciúma, 20 de junho de 2016.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Paula Tramontim Pavei – Mestre – (UNESC) – Orientadora

Prof.^a Marta Valéria Guimarães de Souza Hoffmann – Mestre – (UNESC)

Prof. João Oto Schmitz Júnior – Mestre – (UNESC/IPARQUE)

Dedico este trabalho a todos que estiveram envolvidos na sua realização e que perante as dificuldades não mediram esforços para que fosse alcançado o objetivo.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela oportunidade de lutar pelos meus objetivos, me dando saúde e coragem para enfrentar as dificuldades.

À minha família que não mediu esforços e me apoiou na medida do possível para que este objetivo fosse alcançado, sempre acreditando no meu potencial.

Aos meus amigos e colegas de classe que me apoiaram em todos os momentos e que fizeram parte dessa trajetória.

Ao Rodrigo Barchinski pela oportunidade concedida de trabalho e confiança na elaboração do TCC.

Ao Pedro Henrique Giassi que foi meu colega de classe durante algumas fases na graduação e que hoje é meu colega de trabalho, quem não mediu esforços para me ajudar na coleta de dados e informações técnicas. Pela humildade e o conhecimento concebido durante a jornada de trabalho.

À minha namorada, que me acompanhou durante toda a graduação, sempre me apoiando, confiando no meu potencial e tendo muita paciência nos momentos difíceis.

À orientadora, Paula Tramontim Pavei, pelo conhecimento repassado e pelas orientações que foram fundamentais para realização deste trabalho.

Ao mestre João Oto Schmitz Júnior, por ter me ajudado na realização das amostragens de qualidade do ar e também por ter aceitado o convite para compor a banca de defesa do meu TCC.

À mestre Marta Valéria Guimarães de Souza Hoffmann, pelo conhecimento concedido durante a graduação e por ter aceitado o convite para defesa do meu TCC.

Ao mestre Mário Ricardo Guadagnin e ao pós-doutor Carlyle Torres Bezerra de Menezes, que com muita humildade me mostraram o verdadeiro valor das coisas simples, dando exemplos de ética profissional e caráter.

E a todos que de alguma forma fizeram parte deste trabalho.

“Quanto maiores somos em humildade,
tanto mais próximos estamos da
grandeza”.

Rabindranath Tagore

RESUMO

A indústria cerâmica necessita de grandes forças e matéria para produzir uma placa cerâmica com baixo teor de absorção e alta resistência mecânica. Para chegar ao produto final, são utilizados diversos recursos naturais, desde a composição da matéria prima até o combustível utilizado na geração de calor. Segundo Lavoisier na natureza nada se cria, nada se perde e tudo se transforma, a transformação dos recursos naturais utilizados no processo produtivo em poluentes atmosféricos causa grandes impactos na qualidade do ar interno e externo do empreendimento. O objetivo deste trabalho foi avaliar as emissões geradas a partir do processo produtivo de uma indústria cerâmica, a fim de avaliar e quantificar tais concentrações, comparando-as com as legislações vigentes. Desse modo, foram elaborados diagnósticos da qualidade do ar interno e externo, a fim de identificar as principais fontes poluidoras do processo e propor melhorias, visando minimizar os impactos causados pela atividade. Para tal, analisaram-se os relatórios de emissões atmosféricas dos últimos dois anos e realizou-se um monitoramento de qualidade do ar, a fim de medir a concentração das partículas totais em suspensão. Em análise dos resultados pode-se observar que as emissões provindas dos equipamentos de tratamento de emissões atmosféricas em algumas amostras não estavam de acordo com a legislação aplicável, além de o resultado obtido a partir do monitoramento da qualidade do ar, realizado por um Amostrador de Grande Volume (AGV – PTS), não está de acordo com o padrão de emissão estabelecido pela legislação CONAMA nº 003/1990, sendo que durante todo o período de amostragem as concentrações de PTS obtidas ultrapassaram os limites estabelecidos pela resolução. Com base nos resultados do diagnóstico e análises de emissões atmosféricas e qualidade do ar foram propostas melhorias no processo, a fim de garantir a eficiência dos equipamentos de tratamento de emissões e minimizar a emissão de partículas no parque fabril.

Palavras-chave: Qualidade do ar. Emissões atmosféricas. Partículas Totais em Suspensão (PTS). Revestimentos Cerâmicos.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ciclone	30
Figura 2 – Filtro manga	31
Figura 3 – Lavador de gases.....	33
Figura 4 – Coletor isocinético de poluentes atmosféricos	34
Figura 5 – Amostrador de Grande Volume.....	36
Figura 7 – Balança de preparação de massa.....	39
Figura 8 – Moinhos.....	40
Figura 9 – Atomizador	41
Figura 10 – Ciclones dos atomizadores	42
Figura 11 – Lavador de gases.....	43
Figura 12 – Ciclone da fornalha	44
Figura 13 – Correia transportadora	45
Figura 14 – Prensa hidráulica.....	45
Figura 15 – Filtro manga	46
Figura 16 – Secador.....	47
Figura 17 – Esmaltação	48
Figura 18 – Mini filtro manga.....	49
Figura 19 – Forno monocal	50
Figura 20 – Retífica	50
Figura 21 – Ponto de amostragem	53
Figura 22 – Amostrador de Grande Volume (HI-VOL) instalado na área	54
Figura 23 – Correia transportadora com declive	55
Figura 24 – Correia transportadora com emissão de particulado.....	56
Figura 25 – Correia enclausurada	57
Figura 26 – Prensa Hidráulica	57
Figura 27 – Duto filtro de mangas	58
Figura 28 – Box filtro de mangas nº 02	58
Figura 29 – Tijolos vazados no setor de polimento	59
Figura 30 – Lanternins presentes no setor de polimento	60
Figura 31 – Depósito de matéria prima	61
Figura 32 – Dispersão de particulados provindo da circulação de veículos	61
Figura 33 – Lavação de Pneus.....	62
Figura 34 – Escala Ringelmann	65
Figura 35 – Parte superior filtro de mangas, tubo soprador e espelho.....	70
Figura 36 – Fontes de emissões e ponto de amostragem	73
Figura 37 – Pátio de matéria prima	74
Figura 38 – Prensa com mangote solto.....	78
Figura 39 – Box filtro de mangas 02.....	79
Figura 40 – Lavação de pneus	80
Figura 41 – Umedecimento	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Emissões atmosféricas do lavador de gases 01	63
Tabela 2 – Emissões atmosféricas do lavador de gases 02	63
Tabela 3 – Análise de emissões atmosféricas do lavador de gases 03	64
Tabela 4 – Padrões de emissões por fonte de geração de calor e energia utilizando o carvão o coque verde de petróleo	64
Tabela 5 – Análise de emissões atmosféricas do filtro de mangas 01	68
Tabela 6 – Análise de emissões atmosféricas do filtro de mangas 02	69
Tabela 7 – Análise de emissões atmosféricas do filtro de mangas 03	69
Tabela 8 – Resultados da qualidade do ar e dados meteorológicos	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- AGV – Amostrador de Grande Volume
- ETE – Estação de Tratamento de Águas Residuais
- FMC – Fumaça
- HC – Hidrocarbonetos
- MP – Material Particulado
- MP_{2,5} – Partículas Inaláveis Finas
- MP₁₀ – Partículas Inaláveis
- PTS – Partículas Totais em Suspensão

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 HISTÓRIA DA CERÂMICA.....	14
3.2 PROCESSO CERÂMICO	15
3.2.1 Matérias primas	15
3.2.2 Processo produtivo	17
3.3 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA	19
3.3.1 Principais poluentes atmosféricos	21
3.3.1.1 Monóxido de carbono (CO)	21
3.3.1.2 Dióxido de nitrogênio (NO ₂).....	22
3.3.1.3 Material Particulado (MP)	22
3.3.1.4 Hidrocarbonetos (HC).....	24
3.3.1.5 Oxidante fotoquímico – Ozônio (O ₃).....	24
3.4 QUALIDADE DO AR INTERNO	25
3.4.1 Controle da qualidade do ar interno	27
3.5 SISTEMAS DE TRATAMENTO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS	29
3.5.1 Ciclone	29
3.5.2 Filtro manga	30
3.5.3 Lavador de gases	32
3.6 MONITORAMENTO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS	33
3.7 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR	35
4 METODOLOGIA	37
4.1 ÁREA DE ESTUDO.....	37
4.2 COLETA DE DADOS	51
4.2.1 Diagnóstico da qualidade do ar interno	51
4.2.2 Diagnóstico da qualidade do ar externo	51
4.3 PROPOSIÇÃO DE MELHORIAS	54
5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	55
5.1 DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE DO AR INTERNO	55
5.2 DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE DO AR EXTERNO	60
5.2.1 Análises de emissões atmosféricas	63
5.2.1.1 Análises de emissões atmosféricas provindas do lavador de gases	63

5.2.1.2 Histórico de emissões atmosféricas providas do filtro de mangas	68
5.2.2 Análises de qualidade do ar externo	71
5.3 PROPOSIÇÕES DE MEDIDAS DE MELHORIAS E AVALIAÇÃO DAS MEDIDAS PROPOSTAS	75
5.3.1 Medidas propostas para melhoria da qualidade do ar interno.....	75
5.3.2 Medidas propostas para melhoria da qualidade do ar externo	79
6 CONCLUSÃO	83
REFERÊNCIAS.....	86
INSTITUTO DE FÍSICA GLEB WATAGHIN - IFGW. ESTRUTURA DA PESQUISA. 2015.	88

1 INTRODUÇÃO

O ar é essencial para a vida no planeta Terra, todo ser vivo depende do ar para a sobrevivência, porém este recurso muitas vezes não recebe a devida atenção e acaba sendo deteriorado por processos naturais e antropogênicos. No início do Século XIX, teve início a Revolução Industrial, na qual culturas artesanais foram substituídas por maquinários com objetivo de atender à demanda pós-guerra. Os maquinários permitiam uma produção em massa, porém eram movidos a vapor oriundos da queima de combustíveis fósseis, liberando grandes concentrações de poluentes na atmosfera. Décadas após o início da Revolução Industrial, foi perceptível que a emissão de poluentes na atmosfera estava alterando a qualidade do meio. A partir desse ponto, pesquisadores, engenheiros e cientistas começaram a estudar medidas para diminuir a emissão dos poluentes.

A seguinte pesquisa tem o enfoque na emissão de poluentes provindos do processo produtivo de uma indústria cerâmica, sendo de exímia importância o levantamento das fontes de emissões, bem como a qualificação e quantificação das concentrações dos poluentes emitidos, de forma a garantir a integridade do meio ambiente e das pessoas envolvidas direta ou indiretamente no processo produtivo.

Por se tratar de uma indústria onde as matérias primas são argilas, talcos, feldspato e outros minerais com baixa granulometria, é perceptível que durante todo o processo produtivo, desde a chegada da matéria prima na empresa até na fase de prensagem ocorre a dispersão de particulados no meio, que alteram a qualidade do ar.

Todo poluente emitido no processo produtivo nada mais é do que matéria prima sendo desperdiçada, que além do prejuízo financeiro, ocasiona a deterioração da qualidade do ar com potencial para alterar a qualidade de vida dos colaboradores e da comunidade.

A partir da identificação das fontes de emissões, pretende-se quantificar e qualificar as concentrações dos poluentes emitidos com base na realização de diagnósticos da qualidade do ar interno e externo e com base nas análises das emissões atmosféricas que foram realizadas por uma empresa terceirizada. Foi realizado uma análise da qualidade do ar, através de um Amostrador de Grande Volume, sendo que os resultados serão avaliados de acordo com as legislações vigentes.

A partir dos resultados das análises foram propostas medidas de melhorias de acordo com a viabilidade econômica do processo, a fim de diminuir a geração e minimizar os impactos causados pelas emissões atmosféricas.

Dessa forma, o desenvolvimento deste Trabalho de Conclusão de Curso terá como objetivo geral avaliar a qualidade do ar interno e externo de uma indústria de revestimentos cerâmicos, propondo medidas corretivas e mitigadoras para o controle das emissões atmosféricas oriundas do processo produtivo.

Os objetivos específicos compreendem:

- Identificar as possíveis fontes de emissões de poluentes atmosféricos oriundas do processo produtivo.
- Realizar um diagnóstico de qualidade do ar interno e externo na área de influência direta da fábrica.
- Verificar se as concentrações de emissões atmosféricas e qualidade do ar atendem aos limites estabelecidos pela legislação vigente.
- Propor medidas de melhoria para o controle das fontes de emissões decorrentes da atividade.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 HISTÓRIA DA CERÂMICA

O termo cerâmico é derivado do grego “*keramos*”, que significa “terra queimada” e é usado para designar materiais inorgânicos, obtidos a partir de compostos não metálicos e solidificados por processo de queima (ABCERAM, 2015).

Os primeiros indícios de produção cerâmica no Brasil ocorreram na Ilha de Marajó. A cultura da Cerâmica na Ilha de Marajó provém de um aperfeiçoamento dos métodos artesanais utilizados pelos indígenas na região. Levantamentos arqueológicos indicam peças cerâmicas com aproximadamente cinco mil anos (ANFACER, 2016).

O Brasil é o segundo maior produtor e consumidor de revestimentos cerâmicos, sendo superado apenas pelo mercado Chinês, que nas últimas décadas tem crescido exponencialmente e tem como vantagem o baixo custo de produção e mão de obra (ABCERAM, 2015).

Segundo a ANFACER (2016), 40% da produção nacional são realizadas por via seca e 60% por via úmida. A diferença entre esses tipos de processos está na seleção e preparação da massa de argila. Na produção por via úmida, as matérias primas são dosadas de acordo com uma formulação e é adicionada água para uma melhor homogeneização da massa. Já na produção por via seca, as matérias primas são homogeneizadas sem o adicionamento de água. A fase de mineração e processamento cerâmico é a mesma para os dois processos.

No Brasil, a região de Criciúma, em Santa Catarina, concentra empresas com liderança nacional em qualidade, design e exportação. No Estado de São Paulo, destaca-se o Parque Industrial de Santa Gertrudes, que experimentou notável expansão nos últimos 15 anos e se diferenciou de Criciúma pela adoção da tecnologia de produção via seca e pelo atendimento preferencial às faixas de mercado mais populares (AMBONI, 2002).

A indústria Cerâmica na região Sul de Santa Catarina emprega mais de cinco mil trabalhadores, tendo influência direta na economia da região, sendo que em 2014 a indústria cerâmica no país exportou para 113 países, totalizando 69,2

milhões de metros quadrados; o equivalente a uma receita de 279,8 milhões de dólares (ANFACER, 2016).

3.2 PROCESSO CERÂMICO

3.2.1 Matérias primas

Segundo Biffi (2002 apud BARCHINSKI, 2009) as matérias primas utilizadas na preparação das massas da cerâmica de revestimento podem ser plásticas e não plásticas. As matérias primas plásticas são essenciais na fase de conformação, enquanto que os não plásticos atuam na fase do processamento térmico, permitindo ao corpo cerâmico sua forma após a queima (MOTTA; ZANARDO; CABRAL JÚNIOR, 2001). “As matérias primas plásticas conferem importantes características na fase de conformação das peças cerâmicas, tais como trabalhabilidade e resistência mecânica a cru e no processamento térmico como estrutura e cor” (MOTTA; CABRAL JÚNIOR; TANNO, 1998, p. 33). Já as matérias primas não plásticas são responsáveis pelo processamento térmico, garantindo a sua forma após a queima (WAGNER *et al*, 1990).

Segundo Motta; Zanardo e Cabral Júnior (2001), as matérias primas plásticas são: argila comum, argila plástica e caulim. Já como não plásticas podem-se citar: feldspato, filito, talco, calcário, quartzo e outros.

A argila é a principal matéria prima utilizada no processo cerâmico, é formada basicamente por agilominerais, possui elevado teor de partículas com diâmetro aproximado de 2 μm . Quando umedecida, a argila torna-se plástica, após a retirada da umidade ela se torna dura e rígida e na etapa de queima adquire dureza (WAGNER *et al*, 1990).

As argilas comuns possuem como característica a cor avermelhada devido ao alto teor de ferro total presente, podendo superar 4% da composição. As argilas comuns são utilizadas em cerâmicas vermelhas e de revestimento. Já a argila plástica possui a característica cor marfim ou creme após a queima, apresenta alta plasticidade e geralmente são compostas por caulinita, podendo conter quartzo,

montmorilonita e muitas vezes matérias orgânicas (TANNO; MOTTA, CABRAL JÚNIOR, 2001).

A sílica é um mineral indispensável no processo cerâmico, sendo um componente fundamental para o controle de dilatação da peça e para ajuste de viscosidade da fase líquida que é formada durante a queima (MARINO; BOSCH, 1998).

Os feldspatos são um grupo de minerais constituintes das rochas ígneas cuja composição química é provinda de uma combinação entre silicatos de alumínio com potássio, sódio, cálcio e, raramente, bário. Na indústria cerâmica, o feldspato tem a função de formar uma fase vítrea no corpo, promovendo uma vitrificação e transluzimento no corpo cerâmico, sendo representado por dois minerais: albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) e feldspato potássio (DA LUZ; COELHO, 2005).

O Caulim tem como característica a cor branca depois da queima, sendo quimicamente inerte dentro de uma ampla variação de pH. O Caulim pode possuir um teor de 75% a 85% de caulinita, desde que não altere a cor de queima. A adição do Caulim na matéria prima contribui para o aumento da resistência mecânica e redução da deformação piropelástica durante o processo de queima (ABCERAM, 2016).

O talco e a pirofilita são rochas filossilicatos (silicatos com estruturas em forma de folha) em que o mineral talco é predominante na maioria das vezes. A utilização do talco no processo cerâmico tem como finalidade aumentar a resistência do produto final e como lubrificante no processo de prensagem, além de possuir alta resistência a choques térmicos, baixo teor de umidade e baixa condutividade elétrica (DNPM, 2016).

O calcário é uma rocha sedimentar originada de material precipitado por agentes químicos e orgânicos, sendo que seu principal constituinte mineralógico é a calcita (CaCO_3). A adição do calcário na massa cerâmica fornece ao produto final uma redução nas expansões térmica e por umidade (SAMPAIO; ALMEIDA, 2005).

O quartzo tem a função de ajustar o coeficiente de expansão térmica, podendo ser natural ou cultivado. O quartzo natural é extraído da natureza e o cultivado é produzido a partir do crescimento hidrotérmico, em autoclave (OLIVEIRA, 2000).

A qualidade das matérias primas é de extrema importância para a produção dos corpos cerâmicos, sendo que cada matéria prima possui uma característica de

reação. As reações das matérias primas no processo produtivo são controladas de forma que as reações entre os minerais se neutralizem ou se sobrepõe entre eles, dando a característica específica do corpo cerâmico (MOTTA; CABRAL JÚNIOR; TANNO, 1998).

3.2.2 Processo produtivo

A produção de revestimentos cerâmicos requer muita energia e matéria prima devido à transformação de argilas e outros minerais de baixa granulometria em placas sólidas com baixo teor de absorção e alta resistência (ABCERAM, 2015).

O processo produtivo de uma indústria cerâmica envolve, principalmente, as etapas de preparação da massa, atomização, prensagem, secagem, preparação do esmalte, esmaltação, queima, retífica, classificação, embalagem e expedição (WAGNER *et al*, 1990).

Na preparação de massa, as matérias primas são adicionadas em moinhos contendo esferas cerâmicas que se deslocam em movimento de rotação, proporcionando a moagem da matéria prima. Nos moinhos, é realizada a moagem juntamente com água, transformando a matéria prima em uma massa úmida e com densidade específica que é denominada de barbotina (WAGNER *et al*, 1990).

A próxima etapa do processo é a atomização, que é responsável pela retirada do excesso de água da barbotina com o objetivo de se alcançar o teor de umidade estabelecido pela formulação específica do produto (RIBEIRO *et al*, 2001).

Segundo Bristot (1996), a atomização visa eliminar o excesso de água na barbotina, obtendo partículas granuladas com as propriedades mais adequadas para a prensagem.

Para tanto, a barbotina é bombeada para um sistema dispersor que a divide em pequenas gotículas pulverizadas por bicos de pressão no interior de uma câmara de secagem com ar insuflado previamente aquecido pela fornalha. Esta ação provoca a evaporação rápida da água, dando origem ao pó atomizado. O tempo médio para que a umidade média da barbotina passe de 35% para 5% a 7% no processo de atomização é de aproximadamente 20 segundos (FONSECA, 2000).

Segundo WAGNER *et al* (1990), após a transformação da barbotina em pó atomizado, ocorre a etapa de prensagem em que prensas hidráulicas exercem uma

grande força, fazendo com que o pó atomizado fique compactado, formando o “biscoito cru”.

Após a etapa de formação, as peças ainda contêm um alto teor de umidade. O limite estabelecido para revestimentos cerâmicos varia de 0,8% a 1,5% de umidade residual (WAGNER *et al*, 1990). Na secagem, ocorre a retirada do líquido ainda presente no material prensado. Nesse processo, a umidade passa de 4,5% a valores inferiores a 1%. A etapa de secagem garante o aumento na resistência mecânica do produto, uniformidade técnica superficial e a distribuição de umidade nas peças (FONSECA, 2000).

Bristot (1996) afirma que o calor fornecido para a retirada do excesso de água provém de queimadores a gás natural, atingindo temperaturas de 170 °C.

É importante para o consumo energético que a secagem seja rápida, eficiente e de baixo desperdício, controlando as taxas de aquecimento, circulação de ar, temperatura e umidade (OLIVEIRA, 2000, p. 74).

A próxima etapa é a esmaltação, na qual são adicionadas camadas finas e contínuas de esmalte nas peças. Após a aplicação do esmalte, as peças passam por um forno em que são queimadas a 1200 °C, dando um aspecto estético, higiênico e melhorando algumas das propriedades físicas do corpo cerâmico. A composição do esmalte varia de acordo com a formulação do produto (WAGNER *et al*, 1990).

Depois das etapas de secagem e esmaltação, sendo que a secagem é responsável pela retirada do excesso de água da peça e a queima é responsável pela dureza e resistência dos materiais cerâmicos. O processo de queima ocorre através de um forno que trabalha de forma contínua, sendo que a entrada do material, o cozimento e a saída do material ocorrem de modo contínuo, sem interrupções. A temperatura de queima varia entre 800 °C a 1700 °C, sendo que cada produção possui uma formulação diferente, incluindo a temperatura de queima (FONSECA, 2000).

O material, ao sair do forno, passa pela retífica em que é realizado o esquadrejamento e polimento das peças (BRISTOT, 1996).

Após as etapas de fabricação das peças, essas são encaminhadas para o setor de classificação e embalagem. Os critérios de classificação são: regularidade dimensional, aspecto superficial, características mecânicas e químicas. A avaliação

dos critérios é feita por técnicos que classificam a peça como “qualidade A” e “qualidade C”. Sendo que a qualidade “A” é exatamente igual ao padrão estabelecido pela empresa e a qualidade “C” são peças que fogem do padrão, porém não comprometem a sua estrutura física e química. Após classificada, a peça é embalada e encaminhada ao setor de expedição (WAGNER *et al*, 1990; OLIVEIRA, 2000).

3.3 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

A Resolução CONAMA nº. 003 de 1990 define que a poluição atmosférica é qualquer alteração na composição do ar determinada por meio da quantificação e concentração dos poluentes que se encontram no meio atmosférico, causadas por fontes naturais, fixas ou móveis. Considera-se poluente atmosférico qualquer substância que, em determinada concentração, possa tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde humana, causando desconforto respiratório ao bem estar público, danos aos materiais e prejudicial à fauna e flora (BRASIL, 1990).

O ar atmosférico é composto basicamente por nitrogênio (78%); oxigênio (20,95%); argônio (0,934%), gás carbônico (0,033%). As quantidades de neônio, hélio, criptônio, xenônio, hidrogênio, metano e óxido nitroso somam menos de 0,01% na composição do ar (BRAGA *et al*, 2003). As concentrações dos poluentes citadas acima servem apenas como base teórica, sendo que não são encontradas na natureza nessas condições (VESILIND; MORGAN, 2011).

As concentrações dos poluentes na atmosfera podem mudar em função das condições meteorológicas que influenciam diretamente na dispersão dos poluentes (DERÍSIO, 2000).

Além da meteorologia, a avaliação das concentrações de poluentes na atmosfera é de fundamental importância no desenvolvimento de um programa de controle da poluição do ar por parte da agência de governo responsável por este controle (DERÍSIO, 2000, p. 98).

Os efeitos da poluição do ar atingem diretamente a saúde, materiais, propriedades da atmosfera, fauna, flora e economia (ZURITA; TOLFO, 2000).

Os efeitos na saúde acarretam doenças respiratórias, alteração no sistema nervoso e de importantes funções fisiológicas. Já a ação dos poluentes atmosféricos nos materiais ocorre através de abrasão em equipamentos e corrosão de metais. Os efeitos dos poluentes na fauna e flora acarretam a redução da penetração da luz, deposição de poluentes no solo e penetração dos poluentes pelos estômatos das plantas. Como todo impacto, independente da magnitude, atinge a economia, com a poluição do ar não seria diferente, se tratando de custos de prevenção à poluição, reforma de equipamentos e aquisição de equipamentos para monitoramento da qualidade do ar (DERISIO, 2000).

“O modo mais fácil para controlar a poluição do ar é eliminando a fonte do mesmo” (VESILIND; MORGAN, 2011, p. 307).

As fontes de emissões são classificadas em fontes fixas e fontes móveis (BRAGA *et al*, 2003).

As fontes móveis não possuem local definido, não sendo possível a avaliação na base de fonte por fonte. As principais fontes móveis que contribuem para a poluição do ar são os veículos automotores que são movidos por meio do uso de combustíveis fósseis, que além de consumirem oxigênio, aumentam a quantidade de CO₂ na atmosfera, o que pode intensificar o efeito estufa. Até hoje a engenharia não conseguiu inventar um automóvel que tenha 100% de eficiência na queima do combustível, não havendo perdas de energia no sistema. Para reduzir as emissões provindas dos veículos automotores, algumas medidas foram tomadas para diminuir a emissão desses poluentes diretamente no meio. As perdas por evaporação de combustíveis foram reduzidas pelo uso de tampas no tanque e a utilização de caixas de carvão ativado para diminuir a emissão de carburetos. O maior problema nos veículos automotores provém do escapamento que é responsável pela emissão de 60% do HC e quase todo o NOx, CO e chumbo presente no meio (VESILIND; MORGAN, 2011).

Segundo Gomes (2010), as fontes fixas ocupam uma área específica sem mudança no local da emissão dos poluentes, permitindo o monitoramento diretamente na fonte. As fontes fixas são representadas nas indústrias através de chaminés a jusante do lavador de gases e filtros de mangas, caldeiras, fornos e incineradores.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estabeleceu, por meio da resolução 005/89 o Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar (PRONAR),

com o objetivo de estabelecer padrões de emissões de acordo com a tipologia do poluente e o uso ocupacional do ar ambiente (BRASIL, 2006).

A Resolução CONAMA n.º. 003/1990 estabelece padrões de emissões previstos no PRONAR, sendo definido em padrões primários e secundários da qualidade do ar (BRASIL, 1990).

Em relação às emissões atmosféricas, na empresa alvo do estudo se aplica a resolução CONAMA n.º. 382 de 2006 que estabelece limites máximos para fontes fixas com licença requerida posterior ao ano de 2007 (BRASIL, 2006).

3.3.1 Principais poluentes atmosféricos

Segundo Braga *et al* (2003), os poluentes atmosféricos são classificados em primários e secundários. Os poluentes primários são aqueles que são lançados diretamente pela fonte e que, se ultrapassado o limite de emissão, podem afetar a saúde humana. Zurita e Tolfo (2000) definem os principais poluentes primários: monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO₂), material particulado (MP) e hidrocarbonetos (HC).

Já “os poluentes secundários provêm de reações químicas e físicas ocorrentes na atmosfera entre os poluentes primários e outras substâncias” (BRAGA *et al*, 2003, p. 171). São exemplos de poluentes secundários o ozônio (O₃), ácido sulfúrico (H₂SO₄) e dióxido de nitrogênio (NO₂).

Na sequência, serão apresentados os principais poluentes atmosféricos, tais como suas características e os impactos causados por esses no meio ambiente e na saúde humana.

3.3.1.1 Monóxido de carbono (CO)

O monóxido de carbono é resultante da queima incompleta de combustíveis fósseis que possuem carbono em sua composição, tais como carvão mineral, madeira e petróleo (ZURITA; TOLFO, 2000). O monóxido de carbono (CO) é uma substância inodora, insípida e incolor, quando inalada atua no sangue reduzindo sua oxigenação (CARMO; PRADO, 1999).

Segundo CETESB (2010), todo processo de combustão que provém da queima de combustíveis fósseis são considerados fontes de emissão de CO. As principais fontes de emissão são os veículos automotores, fornos e caldeiras industriais.

3.3.1.2 Dióxido de nitrogênio (NO₂)

O nitrogênio e o oxigênio molecular reagem formando o monóxido de nitrogênio, proveniente da queima de combustível em automóveis e em fornos industriais (BASTO, 2007).

O monóxido de nitrogênio é oxidado na atmosfera pelos O₂, formando o dióxido de nitrogênio. O NO₂ tem grande influência na composição de poluentes secundários, embora seja emitido por fontes primárias através da ação humana em processos de combustão (ROCHA; ROSA; CARDOSO, 2004).

O NO₂ provém da emissão de fogões a gás, fumaça de cigarros e incineradores (BASTO, 2007), sendo um dos principais poluentes secundários, embora seja emitido por fontes primárias através da ação humana em processos de combustão (ROCHA; ROSA; CARDOSO, 2004).

O “NO₂ tem papel importante na formação de oxidantes fotoquímicos como o ozônio. Dependendo das concentrações, o NO₂ causa prejuízos à saúde” (CARMO; PRADO, 1999, p. 12). Em altas concentrações, o dióxido de nitrogênio possui característica de cor avermelhada com odor forte, causando desconforto ao ser inalado.

3.3.1.3 Material Particulado (MP)

Material Particulado (MP) é constituído de diversos componentes de diferentes granulometrias, tais como: sulfatos, sais, partículas de carbono e sílica (ROCHA; ROSA; CARDOSO, 2004). Segundo Zurita e Tolfo (2000), o efeito biológico do material particulado é determinado pela natureza física e química da partícula, sendo que cada sistema respiratório reage de forma diferente à distribuição e deposição do particulado no sistema respiratório.

O material particulado se encontra um conjunto de poluentes constituídos de poeiras, fumaças e todo tipo de material sólido e líquido que se mantém suspenso na atmosfera por causa de seu pequeno tamanho. As principais fontes de emissão de particulado para a atmosfera são: veículos automotores, processos industriais, queima de biomassa, ressuspensão de poeira do solo, entre outros (CETESB, 2010, s. p.).

O material particulado é classificado em quatro categorias: Partículas Totais em Suspensão (PTS), Partículas Inaláveis (MP_{10}), Partículas Inaláveis Finas ($MP_{2,5}$) e Fumaça (FMC) (CETESB, 2010).

As partículas totais em suspensão (PTS) possuem diâmetro maior do que 100 μm , podendo estar em estado líquido ou gasoso, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça ou fuligem. O PTS provém de fontes naturais e fontes antrópicas, sendo que as principais fontes são os processos industriais, queima de combustíveis fósseis e queima de biomassa (ZURITA; TOLFO, 2000).

Na saúde humana, a alta concentração de PTS afeta diretamente o sistema respiratório, podendo acarretar doenças como asma e bronquite. Já na natureza, causa danos à vegetação, redução da visibilidade e contaminação do solo (FEPAM, 2016).

Os MP_{10} são partículas cujo diâmetro é igual ou menor do que 10 μm , sendo utilizado como indicador de condições de saúde já que as inalações dessas partículas podem ser retidas na região torácica do sistema respiratório (RESENDE, 2007).

As partículas inaláveis finas ($MP_{2,5}$) possuem diâmetro menor ou igual a 2,5 μm , podendo penetrar profundamente no sistema respiratório, atingindo os alvéolos pulmonares (CETESB, 2010).

A fumaça (FMC) é composta por partículas sólidas geradas através da combustão incompleta de materiais carbonáceos. Suas partículas possuem diâmetros que variam de 0,05 μm até 1 μm (VESILIND; MORGAN, 2011). “O método de determinação da fumaça é baseado na medida de refletância da luz que incide na poeira (coletada em um filtro), o que confere a este parâmetro a característica de estar diretamente relacionado ao teor de fuligem na atmosfera” (CETESB, 2010, s. p.).

3.3.1.4 Hidrocarbonetos (HC)

Os hidrocarbonetos são formados por átomos de hidrogênio e carbono praticamente apolares e suas moléculas se mantêm unidas pela força dipolo induzido (GOMES, 2010). O estado físico dos hidrocarbonetos varia de acordo com a quantidade de carbono em sua composição, sendo que até quatro carbonos o HC se encontra em estado gasoso. Já os hidrocarbonetos que possuem de cinco a dezessete carbonos são líquidos e acima disso são sólidos (BRANCO; MURGEL, 1995).

A origem dos hidrocarbonetos provém dos combustíveis fósseis que são formados pela decomposição de vegetais e animais. São exemplos de combustíveis fósseis o petróleo, o gás natural, o carvão, entre outros (CETESB, 2010).

A utilização dos hidrocarbonetos como combustível está ligada ao fato de estes compostos oxidarem com bastante facilidade, liberando muita energia e calor (BRANCO; MURGEL, 1995).

3.3.1.5 Oxidante fotoquímico – Ozônio (O₃)

O ozônio é classificado como poluente secundário devido à sua formação, que ocorre através da reação entre hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio em contato com a luz solar (BRAGA et al, 2003).

Os hidrocarbonetos, ao reagirem com o oxigênio molecular, também produzem o ozônio (O₃), que é considerado o principal poluente secundário. Ele causa irritações nos olhos e desconforto respiratório, porém não pode ser comparado ao ozônio encontrado na estratosfera, que tem função positiva de absorver radiação solar, impedindo que grandes partes dos raios ultravioletas atinjam diretamente a superfície terrestre (ZURITA; TOLFO, 2000).

3.4 QUALIDADE DO AR INTERNO

A poluição do ar interno vem contribuindo para agravar a saúde dos trabalhadores em ambientes fechados. Segundo Carmo e Prado (2003), os poluentes do ar interno são geralmente gerados por fontes biológicas, químicas e fontes físicas.

Conforme a Resolução ANVISA nº 003/2003, a qualidade do ar interno é a condição do ar em um ambiente fechado onde há ocupação com ou sem ventilação artificial (ANVISA, 2003).

A qualidade do ar nos ambientes internos é de extrema importância para a saúde, isso porque passamos a maior parte do tempo em ambientes fechados, onde a qualidade do ar é raramente monitorada. A contaminação do ar interno pode acarretar em doenças respiratórias, irritação nos olhos, dores de cabeça, náusea, espirros, azia e muito outros sintomas (VESILIND; MORGAN, 2011, p. 296).

É de extrema importância que o ar se encontre em temperaturas e pressões normais, evitando a deterioração dos órgãos respiratórios responsáveis pela retenção das partículas e impurezas encontradas no ar (BASTO, 2007). A NBR 1880/2010 trata de requisitos de um Sistema de Gestão de Segurança e Saúde no Trabalho que permitem que uma organização controle os respectivos riscos da Segurança e Saúde no Trabalho e melhore o respectivo desempenho dos colaboradores (ABNT, 2010).

O controle da saúde ocupacional resume-se a uma estratégia de adequar o ambiente de trabalho ao homem e cada homem ao seu trabalho, garantindo a integridade física e saúde dos colaboradores. Muitas pessoas passam a maior parte do tempo em ambientes fechados e em contato com outras pessoas, intensificando a degradação do ar no ambiente, gerando desconforto e diminuindo a produtividade dos trabalhadores (PIMENTA et al, 2013)

Quadros e Lisboa (2010) definem os principais gases e vapores responsáveis pela contaminação do ar.

Entre os gases e vapores destacam os Compostos Orgânicos Voláteis (COV), Compostos Inorgânicos gasosos, Dióxido de Carbono (CO₂), Monóxido de Carbono (CO), Óxidos de Nitrogênio (NO_x), Dióxido de Enxofre (SO₂), Radônio (222Rn) e o Ozônio (O₃). (QUADROS; LISBOA, 2010, p. 5).

“A qualidade do ar interno de um ambiente está intimamente ligada à sensação de conforto térmico experimentado pelos ocupantes e é função específica dos sistemas de climatização, uma vez que os parâmetros monitorados por estes são a temperatura, umidade e a velocidade do ar” (BASTO, 2007, p. 14).

Na Figura 1, Quadros e Lisboa (2010) apresentam os principais poluentes responsáveis pela deterioração da qualidade do ar interno e suas fontes de emissão.

Figura 01 – Principais poluentes do ar interno e suas fontes

Poluente	Principais fontes	
Poluentes de origem não biológica	Compostos orgânicos voláteis (COV)	Adesivos, tintas, solventes, materiais de construção, combustão, fumaça de tabaco.
	Dióxido de carbono (CO ₂)	Atividade metabólica, combustão, motores veiculares e garagens.
	Monóxido de carbono (CO)	Queima de combustíveis, aquecedores de água, fornos, fogões, aquecedores a gás ou a querosene, fumaça de tabaco.
	Dióxido de Enxofre (SO ₂)	Ar externo, queima de combustíveis, motores veiculares (garagens).
	Óxido de Nitrogênio (NO)	Ar externo, queima de combustíveis, motores veiculares (garagens).
	Dióxido de nitrogênio (NO ₂)	Ar externo, queima de combustíveis, motores veiculares (garagens).
	Formaldeído (H ₂ CO)	Materiais de isolamento, móveis, madeira compensada.
	Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA)	Queima de combustíveis, fumaça de cigarro.
	Ozônio (O ₃)	Reações fotoquímicas, campos eletrostáticos (equipamento eletrônico).
	Radônio (Rn)	Solo, materiais de construção (pedras, concreto).
	Material Particulado	Re-suspensão, fumaça de tabaco, combustão.
	Fibra de asbesto ou amianto	Insulação, materiais anti-chama.
	Calor	Metabolismo humano, sistema de ar condicionado, cozinhas.
Origem biológica	Alergênicos	Poeira, animais domésticos, insetos.
	Pólen	Plantas de exterior e de interior.
	Microorganismos (fungos, bactérias, vírus)	Pessoas, animais, plantas e vasos, sistemas de ar condicionado
	Esporos de Fungos	Solo, plantas, alimentos, superfícies internas.

Fonte: Adaptado de Jones *et al* (1999 apud Quadros; Lisboa, 2010).

Os sistemas de climatização e dutos são grandes fontes de contaminantes como poeiras, gases, vapor, fungos e bactérias. Há contaminantes que são gerados de forma natural, como o CO₂ exalado pela respiração humana, fios de cabelo e contaminantes contidos nas roupas dos trabalhadores (QUADROS; LISBOA, 2010).

A ventilação em locais fechados não serve apenas como fornecedor de ar, mas como renovadora do ar interno viciado. Caso a renovação do ar não seja

adequada, o ambiente se torna insalubre devido à alteração na qualidade do ar, podendo afetar a saúde dos trabalhadores (CARMO; PRADO, 1999).

Um ambiente interno pode apresentar um índice de 100% de contaminação ao ser comparado com o ambiente externo. Isto se deve ao acúmulo de umidade e poeira que ocorre em ambientes climatizados e a proliferação de micróbios e bactérias que é muito maior do que em ambientes abertos (BASTO, 2007).

A má qualidade do ar dentro nas indústrias afeta diretamente a saúde dos colaboradores e diminui sua produtividade, sendo que os processos industriais geram inúmeros poluentes que, muitas vezes, não são dadas a devida atenção para essas emissões. Os requisitos para uma avaliação básica da qualidade do ar no ambiente de trabalho é verificar se há poeira em suspensão, diminuição da visibilidade e desconforto respiratório, gases e vapores também são responsáveis pela degradação do ar interno (MACINTYRE, 1990).

Máquinas e equipamentos devem ser mantidos limpos com identificação das fontes de calor, fontes de contaminação química ou biológica e conduzir reformas ou melhorias de forma a minimizar os impactos na qualidade do ar do ambiente (MORAIS, 2006).

3.4.1 Controle da qualidade do ar interno

As medidas de controle da qualidade do ar interno visam assegurar que as concentrações de poluentes não ultrapassem os limites que possam comprometer a saúde dos trabalhadores (GIODA; ALQUINO NETO, 2003).

A ventilação industrial é uma das mais importantes medidas de controle da qualidade do ar interno, sendo responsável pela retirada do ar contaminado e abastecimento do ar puro (LISBOA, 2007).

O ar se movimenta sempre da zona de maior pressão para a zona de menor pressão, sendo assim, um projeto de dimensionamento de ventilação industrial consiste em três aspectos:

- Determinação da vazão de ar necessária e o esquema da distribuição do ar no recinto a ser ventilado.
- Projeto e cálculo das redes e dutos.

- Seleção de ventiladores ou de qualquer outro sistema de movimentação de ar (MACINTYRE, 1990).

A ventilação industrial é classificada em: ventilação geral diluidora e ventilação local exaustora (LISBOA, 2007).

A ventilação industrial diluidora consiste em injetar uma corrente de ar puro no ambiente contaminado, a fim de diluir a concentração dos poluentes. A ventilação industrial exaustora pode ser aplicada através de insuflação mecânica e exaustão natural, insuflação natural e exaustão mecânica e insuflação mecânica e exaustão mecânica (CLEZAR; NOGUEIRA, 1999).

Na insuflação mecânica, o ar é injetado no ambiente interno, fazendo com que a pressão no interior do recinto fique maior do que a pressão exterior, fazendo com que o ar contaminado saia por janelas e lanternins, acontecendo a exaustão natural do ar contaminado (MACINTYRE, 1990).

A insuflação natural e exaustão mecânica ocorrem devido à exaustão do ar contaminado, fazendo com que a pressão no interior seja menor do que a pressão exterior, fazendo com que o ar puro se encaminhe para dentro do recinto (CLEZAR; NOGUEIRA, 1999).

Já a insuflação e exaustão mecânica acontecem devido à injeção do ar puro e exaustão do ar contaminado por equipamentos mecânicos (CLEZAR; NOGUEIRA, 1999; MACINTYRE, 1990).

A ventilação local exaustora consiste em captar os poluentes diretamente na fonte, evitando com que esses se dispersem no ambiente de trabalho. Um sistema local exaustor é composto por: captadores que captam os poluentes, dutos que são responsáveis pelo transporte dos poluentes, filtros que realizam a limpeza do ar antes de ser emitida a atmosfera, motor-exaustor responsável pela energia que movimenta o ar dentro dos dutos e a chaminé sendo o ponto de saída do ar (MACINTYRE, 1990).

O sistema de ventilação local exaustora deverá ser aplicado somente quando a fonte de poluição for pontual (CLEZAR; NOGUEIRA, 1999).

3.5 SISTEMAS DE TRATAMENTO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

A escolha do equipamento de tratamento de emissões atmosféricas depende diretamente de um conjunto de características dos poluentes. Os equipamentos são divididos em dois tipos: equipamentos para tratamento de particulados e equipamentos para tratamento de gases e vapores (VESILIND; MORGAN, 2011).

Os equipamentos de tratamento de emissões atmosféricas, se não dimensionados corretamente e não operarem de forma eficiente pode afetar de forma significativa a qualidade do ar externo e não tratar as emissões provindas de ambientes internos (LISBOA, 2007).

Na indústria cerâmica, os principais poluentes a serem monitorados são os particulados provindos das etapas de transporte de massa e prensagem e gases e vapores provindos dos atomizadores e fornalhas (JAVIER, 2001).

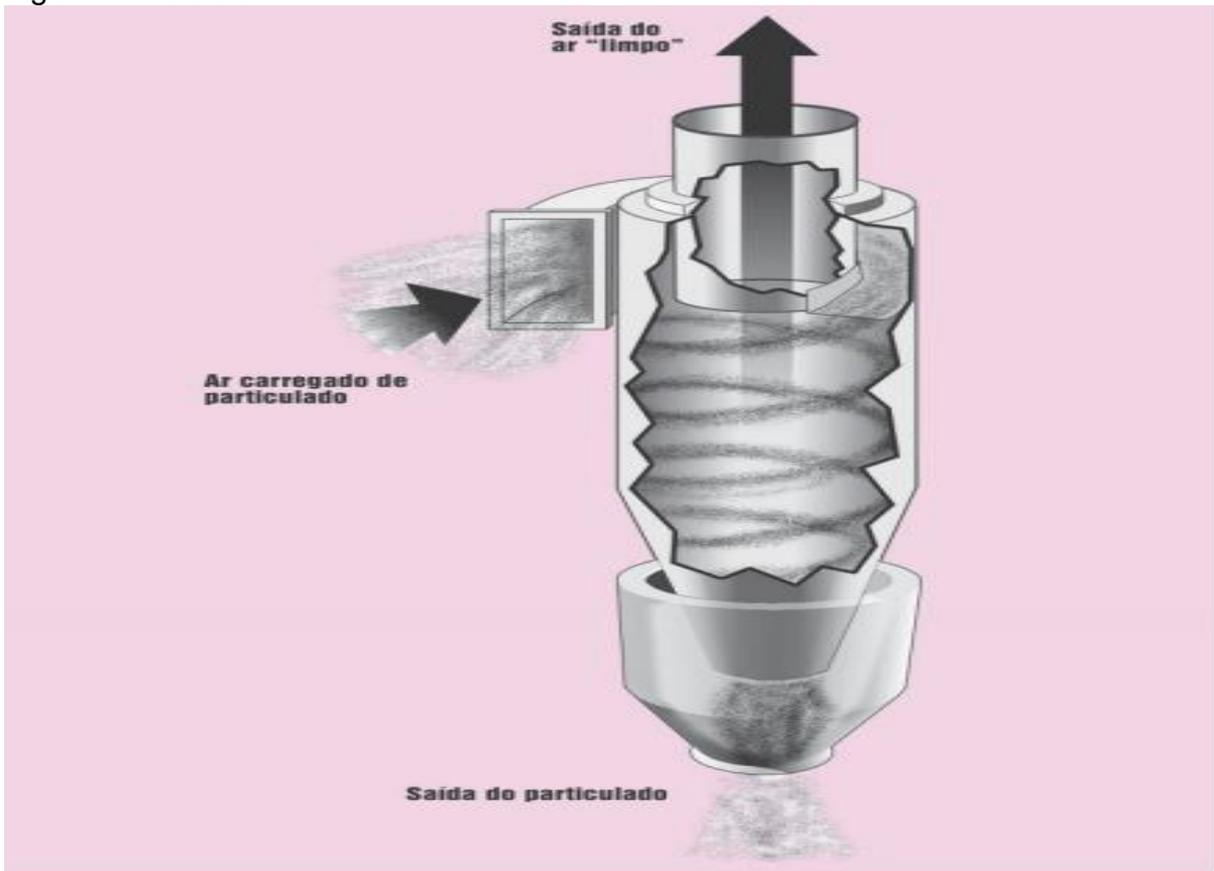
Os sistemas de tratamento de emissões atmosféricas na cerâmica em estudo são: lavador dos gases, filtros mangas e ciclones.

3.5.1 Ciclone

O ciclone é um equipamento bastante utilizado na indústria cerâmica para tratamento de particulado, principalmente como pré-coletor, devido à sua eficiência para partículas maiores e baixo custo de operação (VESILIND; MORGAN, 2011).

O ar contaminado é insuflado em um recipiente cônico com uma velocidade que varia entre 15 a 20 m/s, onde é lançado de encontro com as paredes fazendo com que as partículas percam energia de forma a sedimentar em uma trajetória circular. Após a sedimentação das partículas, essas são coletadas na parte inferior do equipamento e o ar limpo sai pela parte superior, como mostra a Figura 1 (OLIVEIRA; MAGANHA, 2008).

Figura 1 – Ciclone



Fonte: Fernandes (2003).

O ciclone tem como vantagem o baixo custo de manutenção, devido ao sistema de impactação para o qual não é necessária outra ferramenta para que se possam coletar as partículas, diferente dos filtros mangas que necessitam de meios filtrantes para reter as partículas e os lavadores de gases que necessitam de água para adensá-las (VESILIND; MORGAN, 2011).

O ciclone, na indústria cerâmica, é utilizado como coletor de partículas oriundas do processo produtivo e também é utilizado como coletor de massa atomizada na fase de atomização.

3.5.2 Filtro manga

O filtro manga é o equipamento que apresenta a maior eficiência na remoção de partículas, podendo chegar a 99,9% de remoção (VESILIND; MORGAN, 2011).

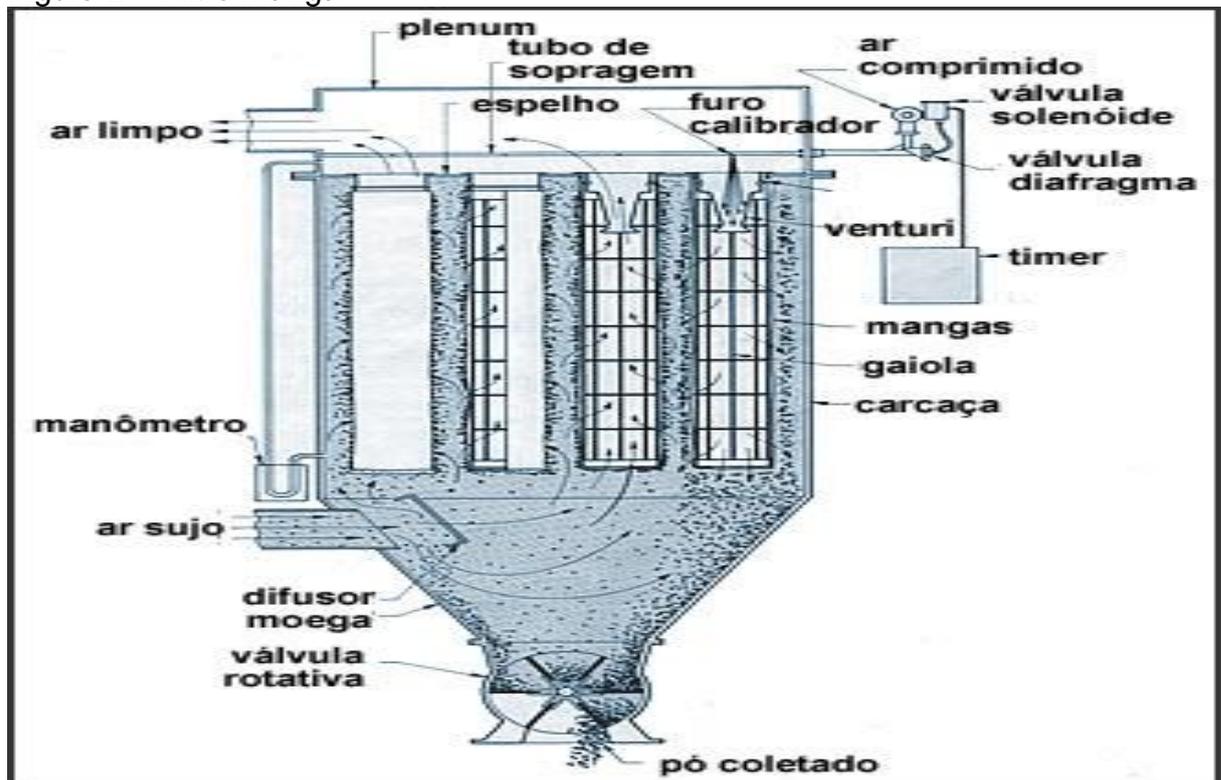
O ar contaminado passa por um meio filtrante em que o ar limpo passa pela trama do tecido e as partículas ficam retidas nele. A limpeza do tecido pode ocorrer com dois tipos de mecanismos: o sacudimento mecânico, no qual as partículas são removidas por agitação do tecido filtrante e por injeção de ar no sentido reverso, e um jato pulsante faz com que as partículas se desprendem da manga (FERNANDES; SERGIO, 2003).

O espaço para instalação do filtro manga varia de acordo com o modelo do equipamento e a quantidade e concentração de partículas a serem tratadas. A manutenção desse equipamento é relativamente alta comparada com os outros equipamentos, sendo que a vida útil do meio filtrante varia de acordo com a intensidade de ar insuflado e a frequência do sacudimento mecânico. A troca do meio filtrante deverá ocorrer quando ele estiver saturado, rasgado ou quando estiver com a trama dilatada (JAVIER, 2001).

No sistema de remoção por injeção de ar, a umidade do ar comprimido deverá ser controlada, pois caso contrário o ar com alto índice de umidade faz com que as mangas saturem mais rapidamente (VESILIND; MORGAN, 2011).

A Figura 2 ilustra o filtro manga com limpeza por injeção de ar comprimido.

Figura 2 – Filtro manga



3.5.3 Lavador de gases

Os lavadores de gases podem ser utilizados para o tratamento de particulados, gases e vapores. Há vários tipos de lavadores de gases, sendo eles: câmara de spray gravitacional, lavadores de impactação, lavadores auto induzidos, lavadores Venturi e lavadores Jet Scrubber (JAVIER, 2001).

Os lavadores de gases do tipo Venturi são os mais utilizados na indústria cerâmica, devido ao seu princípio básico de absorção de partículas presente em um fluxo gasoso, por um meio líquido (Figura 3). Esses equipamentos possuem grande eficiência na remoção de gases, vapores e partículas, porém têm como desvantagem a geração de um efluente líquido (LISBOA, 2007).

O consumo de água em um lavador do tipo Venturi oscila entre 1 a 3 litros por metro cúbico (L/m^3) de gás tratado, com perdas de carga que variam entre 50 a 100 mmca (JAVIER, 2001).

Para a instalação desse equipamento, é necessária uma área horizontal pequena, porém uma área vertical muito grande, a fim de que a chaminé seja mais alta do que a estrutura da empresa (VESILIND; MORGAN, 2011).

A instalação de um lavador de gases tem como vantagem o baixo custo de implantação, baixa manutenção e eficiência de 90% no tratamento de gases. As desvantagens na utilização de um lavador de gases é o alto consumo de água, elevada perda de carga e geração de efluentes (JAVIER *et al*, 2001).

Figura 3 – Lavador de gases



Fonte: Lisboa (2007).

3.6 MONITORAMENTO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

O monitoramento de emissões é realizado a partir de medidas rotineiras em que são monitorados seis parâmetros principais, sendo eles: partículas, hidrocarbonetos totais, oxidantes totais, óxidos de nitrogênio, monóxido de carbono e dióxido de enxofre (BRANCO; MURGEL, 1995).

Em fontes pontuais, mais precisamente em chaminés, o método mais utilizado para o monitoramento são as amostragens por isocinetismo (Figura 4). As amostragens isocinéticas são realizadas em condições em que o fluxo de gás na chaminé tenha a mesma velocidade que o fluxo de gás que se pretende analisar (ABNT, 1990).

Figura 4 – Coletor isocinético de poluentes atmosféricos



Fonte: Energética – Coletores Isocinéticos (2003).

O sistema para teste isocinético é constituído de um conjunto de tubos, sondas, bomba de vácuo, termopares entre outros sensores, de modo a diminuir os riscos de erros analíticos da medida das emissões (GOMES, 2010).

A amostragem é realizada através de um aparelho de amostragem isocinética, no qual é colocada uma boquilha na ponta do tubo de Pitot. A vazão de entrada do gás na boquilha deve ser regulada para que a velocidade seja equivalente à velocidade do gás na chaminé. A amostragem deve ser realizada em vários pontos na chaminé, sendo que a velocidade do gás na chaminé pode variar de acordo com a posição do equipamento (ESMANHOTO, 2010). Para uma amostragem precisa, a vazão de entrada do gás na boquilha deve ser regulada constantemente para que se mantenha o isocinetismo (GOMES, 2010).

A precisão da amostra depende diretamente da localização dos pontos de amostragem, da distância entre perturbações a montante e a jusante e da quantidade de pontos de amostragens sendo que a proporção gás/partícula pode ser alterada sempre que há uma perturbação no escoamento (BRANCO; MURGEL, 1995).

3.7 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR

Para o monitoramento das fontes difusas, o equipamento mais utilizado é o Amostrador de Grande Volume (AGV) (Figura 5), tendo em vista que é o método mais apropriado para análise de partículas totais em suspensão (BRANCO; MURGEL, 1995).

Os métodos de coleta e análise do AGV para o monitoramento do material particulado em suspensão se baseiam na Norma ABNT NBR 9547. Essa norma aplica um método específico para a determinação da concentração de partículas totais em suspensão (PTS) no ar ambiente, em um período de amostragem determinado (ABNT, 1997).

Nesse sistema, o ar contaminado é succionado através de um filtro com baixa granulometria. O volume amostrado é determinado pela vazão e tempo de amostragem, sendo que a concentração das partículas é determinada pela massa das partículas coletadas dividida pelo volume amostrado, dando um resultado expresso em microgramas por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (GOMES, 2010).

O AGV não proporciona uma amostragem seletiva por tamanho de partícula, porém fornece dados essenciais para a determinação da concentração do material particulado no meio (BRANCO; MURGEL, 1995).

Figura 5 – Amostrador de Grande Volume



Fonte: Ambientes e Ambientes, 2012.

Para determinar o local de instalação do AGV, deve-se levar em conta fatores como: condições meteorológicas, predominância dos ventos, relevo da área e tempo de amostragem (ABNT, 1997).

4 METODOLOGIA

Segundo Demo (1995), a metodologia trata das formas de se fazer ciência, preocupando-se com o instrumento, cuidados, procedimentos, ferramentas e caminhos a serem seguidos para iniciação da pesquisa. Logo, entende-se que a metodologia de uma pesquisa não pode ser despreendida da ciência. Sendo assim, a metodologia nada mais é do que um caminho para obter a resposta de uma pergunta, a qual é considerada o principal problema da pesquisa.

De uma forma geral, esta pesquisa visa avaliar as fontes de emissões atmosféricas oriundas de uma indústria de revestimentos cerâmicos. De acordo IFGW (2016), a pesquisa relacionada à avaliação da qualidade do ar parte de uma natureza básica por se tratar da avaliação de fenômenos físicos, químicos e seus fundamentos. Porém após o levantamento dos dados, a pesquisa se torna aplicada por utilizar os conhecimentos obtidos na pesquisa básica.

Dessa forma, a abordagem desta pesquisa inicia de forma qualitativa, sendo que os dados são coletados em situação real, que serão analisados de forma quantitativa (JARDILINO; ROSSI; SANTOS, 2000). Por se tratar de levantamento de dados em escala real, a pesquisa tem um caráter exploratório seguido da descrição dos dados coletados.

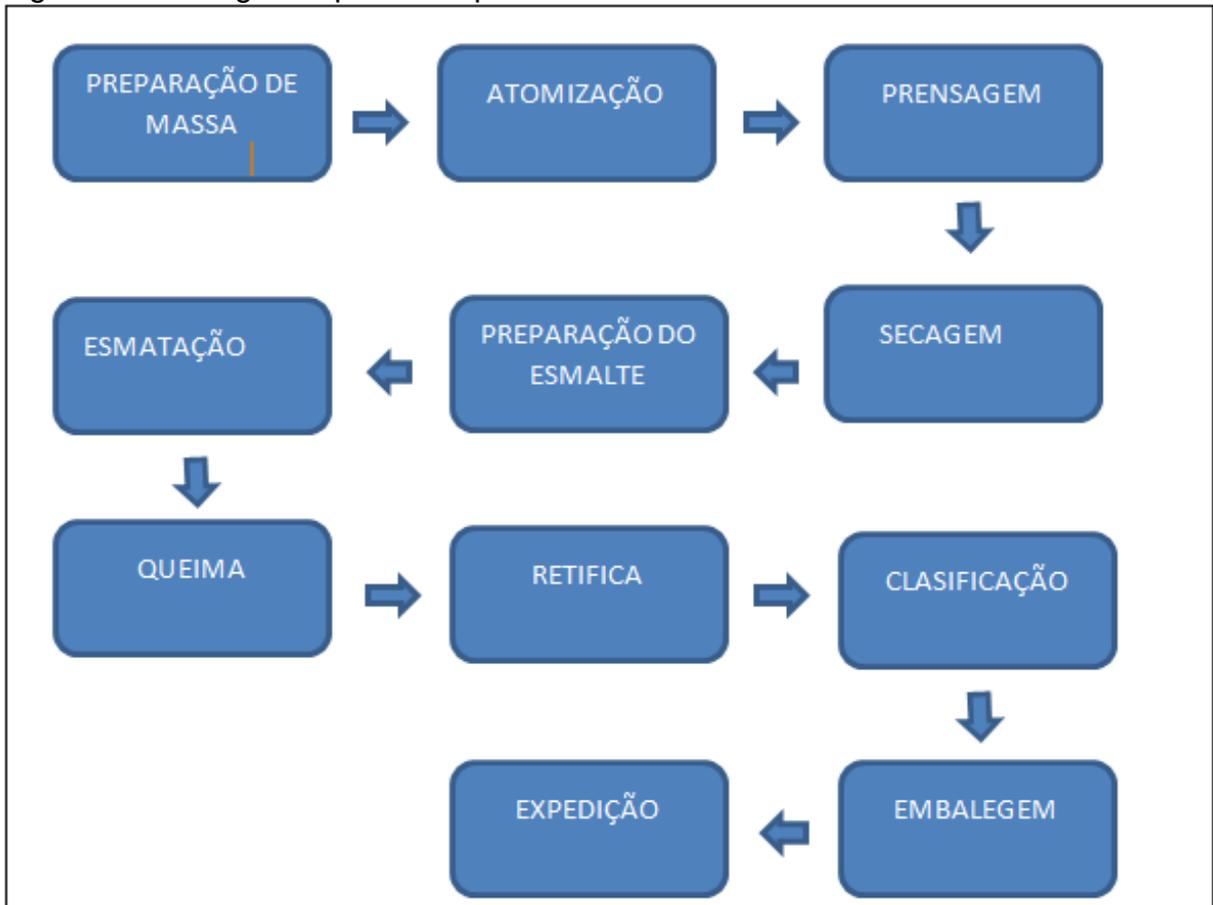
4.1 ÁREA DE ESTUDO

A empresa alvo do estudo é uma indústria de revestimentos cerâmicos com capacidade de produção de 1.700.000 m² por mês, dividida em três linhas de produção, sendo que cada linha de produção é composta por uma fornalha, um atomizador, duas prensas, um forno, um secador, duas linhas de retífica e apenas uma linha de produção com etapa de polimento. A seguir, fluxograma básico do processo produtivo (Figura 6).

O processo produtivo inicia com a chegada das matérias primas no estoque, onde são estocadas e analisadas para que as características sejam mantidas de acordo com a formulação estabelecida. Após analisada, a matéria prima é encaminhada ao setor de preparação de massa, onde são dispostas separadamente

em balanças até que cada matéria prima atinja o percentual indicado pela formulação específica do produto (Figura 7).

Figura 6 – Fluxograma processo produtivo



Fonte: Elaboração do autor, 2016.

Figura 6 – Balança de preparação de massa



Fonte: Do autor, 2016.

Após pesadas, as matérias primas são encaminhadas para os moinhos através de correias transportadoras, onde é homogeneizada a via úmida. A empresa conta com onze moinhos intermitentes e dois moinhos contínuos com capacidade nominal de 32 m³ e 18 toneladas de material argiloso (Figura 8). A matéria prima, ao ser homogeneizada, é transformada em uma massa líquida chamada de barbotina, que após sair dos moinhos é encaminhada a tanques subterrâneos com capacidade de 100 m³/tanque, sendo que a empresa conta com cinco tanques de armazenamento.

Figura 7 – Moinhos



Fonte: Do autor, 2016.

A próxima etapa é a atomização, na qual é retirada a umidade da barbotina, transformando-a em uma massa sólida. A empresa conta com três atomizadores, dois com capacidade de processar 22.000 kg/h e um com capacidade de 26.000 kg/h de massa atomizada que será armazenada em 26 silos com capacidade total de 24.000 toneladas (Figura 09).

Figura 8 – Atomizador



Fonte: Do autor, 2016.

Para o abatimento do material particulado proveniente dos atomizadores, é utilizado um conjunto de quatro ciclones por atomizador, com total de 12 ciclones nesta etapa do processo. Os ciclones utilizados nessa fase não objetivam unicamente o tratamento de particulados, mas possuem a finalidade de fazer com que ocorra a precipitação da massa atomizada, sendo depositado em uma esteira e encaminhado para as prensas (Figura 10).

Figura 9 – Ciclones dos atomizadores



Fonte: Do autor, 2016.

O processo de atomização gera a emissão de particulados e gases provindos da queima do coque verde de petróleo. Para cada atomizador há um lavador de gases do tipo Venturi, com total de três lavadores de gases. Os efluentes líquidos gerados são encaminhados para a estação de tratamento de efluentes. A água para lavar os gases entra nos lavadores com o $\text{pH} = 9$, já o efluente na saída do lavador se encontra com o $\text{pH} = 5$ (Figura 11).

Figura 10 – Lavador de gases



Fonte: Do autor, 2016.

Para a retirada da umidade da barbotina, é necessária uma fonte de calor para que a água evapore e as partículas decantem. Essa fonte de calor provém das fornalhas que utilizam como combustível o coque verde de petróleo com a opção para utilização do gás natural. O coque verde é um produto sólido obtido no pré-craqueamento de óleos residuais das unidades de conversão de resíduos de petróleo, sendo composto basicamente por carbono fixo (87%), enxofre e material volátil, possuindo poder calorífico entre 8.200 e 8.700 kcal/kg. A queima do coque verde de petróleo gera um resíduo denominado de cinza da fornalha, compostas por SO_x , CO_2 , CO , cloretos e fluoretos. Para a retenção das cinzas da fornalha é

utilizado o equipamento de tratamento ciclone (FIGURA 12), sendo um ciclone para cada fornalha.

Figura 11 – Ciclone da fornalha



Fonte: Do autor, 2016

Após a etapa de atomização, a massa granulada é encaminhada para as prensas hidráulicas através de correias transportadoras. A empresa conta com seis prensas hidráulicas, sendo duas prensas para cada linha de produção. Na etapa de prensagem ocorre a compactação da massa granulada a fim de que essa forme um biscoito cru, dando características ao corpo cerâmico. O transporte da massa é feito por correias transportadoras não enclausuradas (Figura 13), que ao longo do percurso acabam dispersando grande quantidade de partículas, ocasionando a deterioração da qualidade do ar interno. Para o abatimento das partículas dispersoras, tanto no transporte quanto na prensagem, é utilizado um filtro manga para cada conjunto de prensas.

Figura 12 – Correia transportadora



Fonte: Do autor, 2016.

A captação do particulado ocorre através de dutos instalados nas prensas (Figura 14) e correias transportadoras, que através de um exaustor, o ar contaminado é encaminhado ao filtro de mangas, onde passa por um meio filtrante fazendo com que o ar puro passe pela trama do meio filtrante e as partículas fiquem retidas nele.

Figura 13 – Prensa hidráulica



Fonte: Do autor, 2016.

Após o sacudimento por injeção de ar, as partículas retidas decantam, sendo coletadas na saída do filtro por Big Bag. Todo material que é coletado no filtro manga é reutilizado na composição da matéria prima (Figura 15).

Figura 14 – Filtro manga



Fonte: Do autor, 2016.

Após a formação do biscoito cru, o corpo cerâmico é encaminhado a secadores, sendo que cada linha de produção possui um secador. Todos os secadores da empresa utilizam como combustível o gás natural (Figura 16).

Figura 15 – Secador



Fonte: Do autor, 2016.

A etapa seguinte é a esmaltação, na qual são aplicadas as camadas finas e contínuas de engobe e esmalte no corpo cerâmico, a fim de dar a característica de tonalidade após queima. O setor de preparação de esmalte conta com nove moinhos com capacidade de 17,4 m³ e vinte tanques para armazenamento de esmalte com capacidade individual de 05 m³, totalizando um espaço para armazenamento de 100 m³ de esmalte e engobe (Figura 17).

Figura 16 – Esmaltação



Fonte: Do autor, 2016.

A preparação do esmalte ocorre em um único setor, sendo que para cada produto há uma formulação específica para a composição do esmalte e engobe. Depois de elaborados, são encaminhados para as linhas de produção de acordo com a referência do produto. Cada linha de produção possui uma linha de esmaltação e para cada linha de esmaltação é utilizado um mini filtro manga (Figura 18) para a captação de material particulado quando ocorrer rebarbas no corpo cerâmico.

Figura 17 – Mini filtro manga



Fonte: Do autor, 2016.

Após receber as camadas de engobe e esmalte, o corpo cerâmico é encaminhado para os fornos onde é realizada a queima a uma temperatura média de 1200 °C. A empresa é composta por três fornos monocal contínuos, sendo um forno para cada linha de produção. Dois fornos possuem dimensões de 3 metros de largura por 200 metros de comprimento e um forno com 3,80 metros de largura por 275 metros de comprimento. Todos os fornos da empresa utilizam como combustível o gás natural (Figura 19).

A etapa de retífica é em que ocorre o esquadrejamento do corpo cerâmico, dando a ele as medidas exatas estabelecidas pela referência do produto. O esquadrejamento ocorre por via úmida, gerando um efluente líquido, posteriormente encaminhado a uma estação de tratamento de efluentes (Figura 20).

Figura 18 – Forno monocal



Fonte: Do autor, 2016.

Figura 19 – Retífica



Fonte: Do autor, 2016.

Após retífica, o piso é classificado e embalado, seguindo para a expedição. Nessas etapas não são gerados resíduos líquidos e gasosos, apenas resíduos sólidos como papelão e fita.

Alguns produtos, como o porcelanato polido, passam pela fase de polimento, em que é dado um aspecto brilhoso ao copo cerâmico.

4.2 COLETA DE DADOS

O diagnóstico da atividade foi realizado durante o período de estágio, sendo que todo o processo produtivo foi inspecionado, desde a chegada da matéria prima até a expedição, com o objetivo de identificar as possíveis fontes de emissões atmosféricas, possibilitando a proposição de melhorias para que a qualidade do ar interno e externo não seja insalubre.

4.2.1 Diagnóstico da qualidade do ar interno

A realização do diagnóstico da qualidade do ar interno teve como objetivo identificar todas as fontes que contribuem para a degradação da qualidade do ar no interior da fábrica. Em acompanhamento intensivo no processo produtivo e por meio de registros fotográficos, foi monitorado o ciclo desde a recepção da matéria prima até a etapa de expedição, a fim de identificar os pontos com a maior dispersão de particulados.

A partir da identificação das fontes de emissão, foi realizada uma análise de riscos ocupacionais por uma empresa terceirizada com o objetivo de quantificar a concentração de particulados em suspensão.

Além disso, foi realizada uma inspeção nos equipamentos de tratamento de emissões atmosféricas, avaliando as suas condições de operação.

4.2.2 Diagnóstico da qualidade do ar externo

O objetivo do diagnóstico da qualidade do ar externo foi analisar as fontes de emissões pontuais e fugitivas decorrentes do processo produtivo. As emissões pontuais são emitidas por meio de equipamentos que direcionam o fluxo da emissão, seja na forma sólida, líquida ou gasosa. Na área de estudo, foram consideradas as

fontes pontuais, as chaminés, a jusante dos lavadores de gases e as chaminés a jusante dos filtros de mangas. As fontes fugitivas não possuem mecanismos que direcionam o fluxo da emissão, fazendo com que as emissões difusas se dispersem no meio. A partir do diagnóstico da qualidade do ar externo, foi estabelecido como fonte fugitiva o depósito de matéria prima, fluxo de máquinas pesadas no parque fabril e o estacionamento de caminhões.

Para avaliação das emissões pontuais, foram resgatados relatórios das campanhas de monitoramento de emissões atmosféricas dos últimos dois anos, a fim de analisar a concentração e taxa de emissão média de material particulado (MP), dióxido de enxofre (SO_2) e gases sulfurosos (SO_x) na chaminé a jusante dos equipamentos de controle de emissões atmosféricas.

Conforme descrito no item referente à área de estudo, atualmente a empresa conta com três lavadores de gases, responsáveis pelo tratamento das emissões provindas dos atomizadores. Três filtros de mangas de grande porte, responsáveis pelo abatimento do particulado emitido na fase de prensagem. Os mini filtros de mangas instalados para abatimento das partículas provindas do processo de esmaltação não foram analisados, devido à baixa vazão de captação do particulado.

Os resultados de cada amostragem compreendem médias de três coletas de amostras realizadas em um mesmo período. Os resultados são expressos em mg/Nm^3 para concentração e kg/h para taxa de emissão, conforme estabelecem as Resoluções do CONAMA n.º. 382/2006 e 436/2011.

No caso específico de material particulado (MP) coletado, foi adotado o método de amostragem isocinética para efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias (ABNT/NBR 12019 – Determinação de material particulado).

Os compostos de enxofre foram monitorados de acordo com o método estabelecido na ABNT/NBR 1202. O método descreve a determinação de dióxido de enxofre, trióxido de enxofre e névoas de ácido sulfúrico em efluentes gasosos de dutos e chaminé de fontes estacionárias.

Os resultados foram comparados com os limites estabelecidos na legislação vigente. Em função de a atividade ter sido instalada em 2009, a legislação que se enquadraria seria a Resolução CONAMA 382/ 2006, porém essa não dispõe sobre padrões de emissões provindos da queima de coque verde de petróleo. Conforme o critério estabelecido para utilização de normas e leis, sempre se basear por normas

mais restritivas, sendo assim, a legislação a ser comparada com os resultados será a Resolução SEMA nº 16/2014, do estado do Paraná.

A Resolução define critérios para o monitoramento da qualidade do ar e padrões de emissões por poluente. Os poluentes a serem analisados serão o material particulado, dióxido de enxofre, trióxido de enxofre, ácido sulfúrico e compostos de enxofre.

No monitoramento das emissões fugitivas, a fim de avaliar se as concentrações de partículas totais em suspensão (PTS) estão dentro dos limites estabelecidos pela legislação vigente, foi realizado um monitoramento da qualidade do ar através de um Amostrador de Grande Volume (AGV), sendo monitorado um local durante quatro dias, vinte e quatro horas por dia.

Para definir o ponto de amostragem, consideraram-se alguns parâmetros, tais como direção predominante dos ventos, direção do fluxo de máquinas, localização de residências próximas à empresa e fontes externas de poluição atmosférica.

O ponto de amostragem foi definido de acordo com os requisitos acima (Figura 21), localizado nas coordenadas: Longitude: 40°22'1.67" Oeste e Latitude: 28°45'55.10" Sul, entre a portaria da empresa onde há um maior fluxo de pessoas e caminhões, estacionamento dos caminhões e a expedição (Figura 22).

Figura 20 – Ponto de amostragem



Fonte: Do autor, 2016.

Figura 21 – Amostrador de Grande Volume (HI-VOL) instalado na área



Fonte: Do autor, 2016

Os resultados foram comparados com os limites de qualidade do ar estabelecidos na Resolução CONAMA nº. 003/1990, a fim de avaliar se a concentração de PTS na atmosfera poderá ocasionar algum dano ao bem estar e saúde dos colaboradores da população no entorno.

4.3 PROPOSIÇÃO DE MELHORIAS

A partir da análise do processo produtivo e diagnóstico de qualidade do ar interno e externo, foram propostas medidas de melhorias para reduzir as emissões decorrentes das diferentes fontes que apresentaram concentrações que possam interferir na qualidade do ar e na saúde dos colaboradores.

As proposições das medidas de melhorias se basearam em pesquisas bibliográficas, com o intuito de mesclar a teoria e prática de acordo com as limitações do processo produtivo e a viabilidade econômica dessa. Também foram analisados outros processos de indústrias de diferentes ramos com a finalidade de adaptar ideias de melhorias para o processo produtivo cerâmico.

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O objetivo do trabalho foi analisar a qualidade do ar interno e externo, a fim de avaliar se as concentrações de PTS de acordo com as legislações vigentes e propor melhorias para que a qualidade do ar não seja insalubre, dando as condições ideais para que os colaboradores possam realizar suas atividades e impedir que o processo produtivo possa alterar a qualidade do ar externo.

5.1 DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE DO AR INTERNO

O transporte de massa é o principal responsável pela alteração da qualidade do ar interno, isso devido à massa possuir baixa granulometria, dificultando o acondicionamento durante o transporte. Do setor de preparação de massa para as prensas, a massa é transportada por correias não enclausuradas, sendo que a cada trinta metros ocorrem uma quebra de fluxo na correia, em um declive vertical de aproximadamente um metro (Figura 23).

Figura 22 – Correia transportadora com declive



Fonte: Do autor, 2016.

A massa atomizada é transportada para a prensa através de um conjunto de correias transportadoras. As correias são interligadas, porém no momento em que a massa cai de uma esteira para outra, algumas partículas, por serem muito pequenas, ficam suspensas no ar e se proliferando pelo parque fabril (Figura 24).

Figura 23 – Correia transportadora com emissão de particulado



Fonte: Do autor, 2016.

A correia que transporta a massa atomizada para a prensa nº 2 é enclausurada, porém não possui o sistema de sucção, fazendo com que as partículas fiquem acumuladas na estrutura de cobertura da correia (Figura 25).

Figura 24 – Correia enclausurada



Fonte: Do autor, 2016.

Visivelmente o setor de preparação de massa é o maior contribuinte para a emissão de particulados no interior da fábrica. Outro setor que contribui para a degradação da qualidade do ar interno é o setor de prensagem. A dispersão de partículas nas prensas ocorre no momento de compactação da massa atomizada em que o biscoito cru é formado. Todas as seis prensas possuem dutos que, através de um sistema de sucção, sugam as partículas em suspensão que são encaminhadas para os filtros de manga (Figura 26).

Figura 25 – Prensa Hidráulica



Fonte: Do autor, 2016.

Foi observado que os dutos responsáveis por encaminhar o particulado para os filtros de mangas possuem muitas curvas que aumentam a perda de carga no escoamento das partículas até o filtro de mangas (Figura 27).

Figura 26 – Duto filtro de mangas



Fonte: Do autor, 2016.

O filtro manga nº 2 não possui uma estrutura adequada para o despejo do particulado retido nas mangas. O particulado é despejado em um box aberto, sendo coletado por uma pá carregadeira. No momento em que ocorre o despejo e o carregamento desse material, ocorre uma grande dispersão de particulados no meio, diminuindo drasticamente a eficiência do equipamento (Figura 28).

Figura 27 – Box filtro de mangas nº 02



Fonte: Do autor, 2016.

Foi observado que a umidade do jato de ar pulsante responsável pelo sacudimento das mangas estava muito elevada, fazendo com que o particulado ficasse mais denso, entupindo as tramas do meio filtrante e impedindo a passagem do ar limpo entre as tramas, diminuindo a eficiência do equipamento e a vida útil das mangas.

As peças saem do forno a uma temperatura de aproximadamente 100 °C e são encaminhadas ao setor de polimento. A primeira etapa do acabamento é a retífica, na qual a peça é esquadrejada a via úmida. A peça quente, ao entrar em contato com a água em temperatura ambiente, emite bastante vapor, sendo que essa água possui muitos metais, tais como alumínio, cálcio e magnésio. Além da geração de vapor, o setor de polimento emite pequenas concentrações de particulados, porém o setor conta com apenas tijolos vazados nas paredes, utilizados com o intuito de aumentar a incidência de luz e ventilar o setor (Figura 29) e lanternins na cobertura do pavilhão (Figura 30).

Figura 28 – Tijolos vazados no setor de polimento



Fonte: Do autor, 2016.

Figura 29 – Lanternins presentes no setor de polimento



Fonte: Do autor, 2016.

5.2 DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE DO AR EXTERNO

Foram identificadas as fontes de emissões responsáveis pela dispersão de partículas no parque fabril da empresa. O depósito de matéria prima que fica a céu aberto sem nenhum tipo de cobertura é uma grande fonte fugitiva de emissão de particulado. Os fatores meteorológicos como direção e velocidade dos ventos, radiação solar que quando elevada facilita a redução da umidade na matéria prima, diminuindo o peso da partícula, fazendo com que essa se disperse com mais facilidade. Outro fator que interfere na dispersão do material particulado é o relevo da área, sendo que nas direções norte, nordeste e noroeste encontram-se o Morro Estevam e o Morro Albino, ambos com o relevo bem acentuado. Além dos fatores meteorológicos e físicos que contribuem para dispersão dos particulados, o fluxo intenso de máquinas pesadas intensifica tanto a dispersão de particulados no meio (Figura 31).

Figura 30 – Depósito de matéria prima



Fonte: Do autor, 2016.

A circulação de veículos no parque fabril da empresa pode ser considerada uma fonte fugitiva de poluição devido ao alto índice de dispersão de particulados que eles geram (Figura 32).

Figura 31 – Dispersão de particulados provindo da circulação de veículos



Fonte: Do autor, 2016.

Para minimizar a dispersão de particulados através da circulação dos veículos, foi construída uma estrutura para lavação dos pneus dos veículos que circulam no parque fabril (Figura 33), evitando que a sujeira contida neles se

disperse pela empresa e evitando a contaminação nas vias de acesso à empresa. A lavação de pneus é considerada uma medida mitigadora de controle da qualidade do ar, sendo que minimiza os impactos ocasionados pela dispersão de poluentes após a saída dos veículos do empreendimento, evitando a contaminação das vias de acesso. Porém tal medida não evita a geração de particulados no interior da empresa, considerando que não há remediação das fontes de emissões fugitivas internas (depósito de matéria prima a céu aberto, estrada sem pavimentação, circulação de veículos no pátio interno).

Figura 32 – Lavagem de Pneus



Fonte: Do autor, 2016.

Cada motorista é responsável por lavar os pneus do seu veículo, caso seja constatado a ausência de lavagem, esse é barrado na portaria, sendo liberado somente após a limpeza do veículo.

5.2.1 Análises de emissões atmosféricas

5.2.1.1 Análises de emissões atmosféricas provindas do lavador de gases

As Tabelas 1, 2 e 3 apresentam os valores das concentrações e taxa de emissão de poluentes atmosféricos proveniente das amostragens realizadas pela empresa nos lavadores de gases nos anos de 2014 e 2015.

Tabela 1 – Emissões atmosféricas do lavador de gases 01

Poluente	Ano	Concentração Média (mg/Nm ³)	Taxa de emissão Média (Kg/h)	Padrão de Emissão (mg/Nm ³)
MP	2014	319,47	48,24	250
	2015	57,16	7,99	250
SO ₂	2014	124,84	18,85	3000
	2015	124,44	17,4	3000
SO ₃ + H ₂ SO ₄	2014	7,21	1,09	3000
	2015	13,48	1,88	3000
SO _x	2014	132,05	19,94	3000
	2015	137,93	19,29	3000
NO ₂	2014	ND*	ND*	500
	2015	10,79	1,51	500

Fonte: Adaptado pelo autor, 2016.

Tabela 2 – Emissões atmosféricas do lavador de gases 02

Poluente	Ano	Concentração Média (mg/Nm ³)	Taxa de emissão Média (Kg/h)	Padrão de Emissão (mg/Nm ³)
MP	2014	176,48	48,38	250
	2015	114,02	14,5	250
SO ₂	2014	187,83	51,49	3000
	2015	206,46	25,41	3000
SO ₃ + H ₂ SO ₄	2014	20,72	5,68	3000
	2015	25,94	3,19	3000
SO _x	2014	208,55	57,17	3000
	2015	232,36	28,6	3000
NO ₂	2014	71,47	19,59	500
	2015	13,13	1,62	500

Fonte: Adaptado pelo autor, 2016.

Tabela 3 – Análise de emissões atmosféricas do lavador de gases 03

Poluente	Ano	Concentração Média (mg/Nm ³)	Taxa de emissão Média (Kg/h)	Padrão de Emissão (mg/Nm ³)
MP	2015	22,5	3,05	250
SO ₂	2015	16,86	2,28	3000
SO ₃ + H ₂ SO ₄	2015	1,76	0,24	3000
SO _x	2015	18,62	2,52	3000
NO ₂	2015	32,46	4,4	500

Fonte: Adaptado pelo autor, 2016..

Sendo assim, a legislação aplicável será a SEMA/PR 16/2014. Conforme a seção III do artigo 22 do capítulo III da resolução são definidos padrões de emissões por fonte de geração de calor e energia utilizando o carvão mineral e o coque verde de petróleo (Tabela 4).

Tabela 4 – Padrões de emissões por fonte de geração de calor e energia utilizando o carvão o coque verde de petróleo

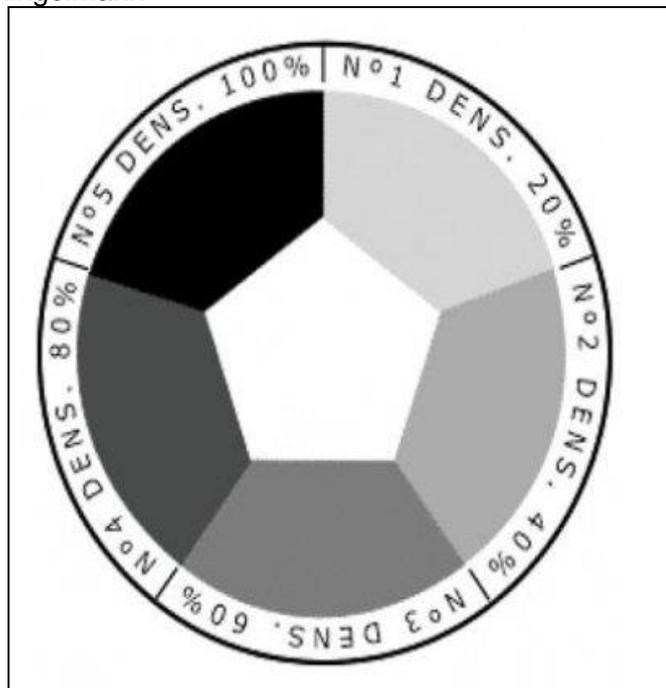
Potência Térmica Nominal (MW)	Densidade calorimétrica	MP (mg/Nm ³)	CO (mg/Nm ³)	NO _x (mg/Nm ³)	SO _x (mg/Nm ³)
Até 10		NA	500	NA	NA
Entre 10 e 50		250	500	500	3.000
Entre 50 e 100	20% equivalente ao padrão 1 da Escala Ringelmann	200	500	500	1.300
Acima de 100		60	250	400	1.300

Fonte: Adaptado pelo autor, 2016.

Considerando a capacidade máxima das três fornalhas que é de 1.200 kg/h, a potência térmica nominal foi estabelecida a partir da seguinte fórmula: Potência Térmica (PT) = Poder Calorífico Inferior (PCI) x Capacidade da fornalha. O poder calorífico do combustível é em média 8.500 Kcal/kg, sendo assim, a Potência

Térmica Nominal = 11,86 MW. Em nenhuma das amostragens realizadas nas fontes estacionárias no ano de 2014 e 2015 constatou-se um grau de enegrecimento superior a 1 e a densidade calorimétrica igual a 20%. O grau de enegrecimento da fumaça preta é baseado na escala de Ringelmann (FIGURA 34), em que é observada a emissão em uma fonte estacionária, comparando-a a padrões pré-estabelecidos, sendo que o grau de enegrecimento não poderá ultrapassar o padrão nº 01.

Figura 33 – Escala Ringelmann



Fonte: CETESB, 2016.

Na Tabela 1, os valores apresentados correspondem à amostragem realizada no lavador de gases 01 nos anos de 2014 e 2015. A concentração de material particulado (MP) em 2014 ultrapassou os limites estabelecidos na SEMA/PR 16/2014. Já em 2015, a concentração de material particulado ficou dentro dos limites estabelecidos. Os compostos de enxofre (SO_x) e os óxidos de nitrogênio (NO_x) apresentaram concentrações ideais de acordo com a resolução, ficando dentro dos limites estabelecidos.

A Tabela 2 representa a amostragem feita no lavador de gases 02. A concentração de material particulado (MP) em 2014 ultrapassou o limite estabelecido pela resolução. Já em 2015, a concentração média de material particulado (MP) foi de 114,02 mg/Nm³ com uma taxa de emissão acima de 0,5 kg/h, estando dentro dos

padrões estabelecidos pela norma. As concentrações dos compostos de enxofre (SO_x) e os óxidos de nitrogênio (NO_x) ficaram dentro dos limites estabelecidos.

A Tabela 3 apresenta os valores relacionados à amostragem realizada no lavador de gases 03. A amostragem foi realizada apenas em 2015 devido ao equipamento ter sido instalado recentemente. Todas as concentrações médias do lavador de gases 03 estão dentro dos limites estabelecidos pela legislação.

Com a análise das emissões atmosféricas dos três lavadores de gases, pode-se observar que em 2014 as concentrações médias de material particulado (MP) foram superiores às concentrações medidas em 2015, porém o grau de enegrecimento da fumaça em nenhuma das amostragens ultrapassou o padrão n° 1 da escala de Ringelmann.

Um dos fatores que pode ter influenciado na diferença entre as concentrações dos anos de 2014 para 2015 foi a alteração do pH da água responsável pela lavagem dos gases. Em 2014, o pH da água que entrava nos lavadores variava de 6,5 a 7,0. Na saída dos lavadores, o efluente saía com pH 5. Em 2015, o pH do efluente foi elevado para 9,0 na entrada da estação de tratamento de efluentes, fazendo com que mais metais precipitassem durante o processo físico-químico e a água para lavagem dos gases se tornasse menos saturada. Em 2015, a empresa inaugurou a linha de produção 03, facilitando a parada de outras linhas para a manutenção de equipamentos e diminuindo a intensidade de produção das linhas 01 e 02. A alta eficiência do lavador 03 está diretamente relacionada à eficiência da fornalha e atomizador da linha 03, sendo que ambos são equipamentos novos.

Todos os três lavadores de gases trabalham de forma contínua, desde que os atomizadores de todas as linhas estejam em funcionamento. Em análise intensiva em todo o processo que envolve os lavadores de gases, foi diagnosticado que em alguns momentos os lavadores não recebiam água, ocasionando a emissão direta dos gases na atmosfera. A falta de água nos lavadores de gases é decorrente de algumas não conformidades observadas durante o processo, incluindo falta de manutenção preventiva nas bombas que abastecem os lavadores e controle de pH na água que abastece os lavadores, sendo esse um dos principais motivos da deterioração das bombas, sendo que o pH de entrada do lavador varia entre 8 e 9 e o pH do efluente gerado é igual a 5. Sendo que o pH de entrada nos lavadores poderá ficar abaixo de 8 e o efluente gerado no lavador abaixo de 5, ficando muito ácido e agredindo diretamente os componentes das bombas que abastecem os

lavadores. Caso o pH não seja corrigido corretamente na estação de tratamento de efluentes, ele irá interferir na eficiência do coagulante e do floculante. O coagulante tem a função de aglomerar as partículas coloidais a fim de expandir a área superficial das partículas e o floculante tem a função de agrupar essas partículas formando flocos para que decantem com uma maior velocidade. O que dificulta a determinação da vazão do coagulante e do floculante é o não conhecimento da vazão de entrada na ETE dos lavadores e o tempo de decantação dos flocos, sendo que a regulagem da vazão dos produtos químicos é baseada em testes de *Jar test* e observação dos flocos em suspensão nos decantadores.

Para definir a regulagem das dosagens dos produtos químicos na ETE é necessário que seja instalada uma calha *Parshall* ou sensores medidores de vazão, para que seja monitorada a vazão de entrada do efluente na ETE. O projeto da ETE dos lavadores de gases conta com um tanque de equalização, três decantadores, dois filtros prensas e um tanque de água limpa. Atualmente, a ETE trabalha com apenas dois decantadores, sendo que um decantador está em manutenção, o que faz com que o tempo de decantação das partículas seja menor, fazendo com que partículas passem pelas coroas do decantador em direção ao tanque de água limpa e conseqüentemente deteriorando a qualidade da água limpa que abastece os lavadores. As partículas dissolvidas na água limpa também contribuem para a deterioração dos eixos das bombas que abastecem os lavadores.

O processo de lavação de gases contempla diretamente dois setores da empresa. O setor de preparação de massa e o setor de meio ambiente. O setor de preparação de massa é responsável pela parte de atomização de massa e o setor de meio ambiente é responsável pelo abastecimento de água, tratamento de emissões atmosféricas e tratamento dos efluentes gerados nos lavadores de gases.

Por ser um processo que envolve os dois setores, esses deveriam trabalhar em conjunto, porém ficou nítida a falta de comunicação entre eles, principalmente quando há alguma parada para manutenção nos atomizadores, sem aviso prévio ao setor de meio ambiente.

Essa falta de comunicação afeta diretamente a eficiência dos lavadores de gases, pois quando o atomizador é parado, a bomba que abastece os lavadores é desligada pelo setor de massa, porém a água que está na tubulação continua indo para a estação de tratamento de efluentes, entrando efluente e saindo menos água da estação de tratamento, ocasionando o transbordo do tanque de água limpa. A

água que transborda é succionada por uma bomba pneumática e armazenada em outros tanques.

Quando o atomizador volta a operar, o tempo que leva para repor a água até preencher toda a rede varia entre trinta minutos a uma hora, fazendo com que o lavador de gases opere sem a vazão de água necessária durante esse período de tempo, diminuindo drasticamente a eficiência do equipamento no tratamento dos gases e de partículas.

5.2.1.2 Histórico de emissões atmosféricas provindas do filtro de mangas

Os resultados expostos nas tabelas a seguir, compreendem os valores das concentrações das emissões e a taxa de emissão dos três filtros de mangas nos anos de 2014 e 2015, ressaltando que o filtro de mangas 03 começou a funcionar em 2015.

Tabela 5 – Análise de emissões atmosféricas do filtro de mangas 01

Poluente	Ano	Concentração (mg/Nm ₃)	Taxa de Emissão Média (Kg/h)	Padrão de Emissão (mg/Nm ³)
MP	2014	34,59	1,04	150
	2015	16,43	0,63	150
SO ₂	2014	11,82	0,45	500
	2015	4,98	0,15	500
SO ₃ +	2014	0,75	0,03	500
H ₂ SO ₄	2015	0,49	0,01	500
SO _x	2014	12,57	0,48	500
	2015	5,47	0,16	500

Fonte: Fonte: Adaptado pelo autor, 2016.

Tabela 6 – Análise de emissões atmosféricas do filtro de mangas 02

Poluente	Ano	Concentração (mg/Nm ₃)	Taxa de Emissão Média (Kg/h)	Padrão de Emissão (mg/Nm ³)
MP	2014	42,5	1,63	150
	2015	100,55	4,75	150
SO ₂	2014	12,63	0,51	500
	2015	9,51	0,45	500
SO ₃ +	2014	0,75	0,03	500
H ₂ SO ₄	2015	0,72	0,03	500
SO _x	2014	11,32	0,5	500
	2015	10,24	0,48	500

Fonte: Adaptado pelo autor, 2016.

Tabela 7 – Análise de emissões atmosféricas do filtro de mangas 03

Poluente	Ano	Concentração (mg/Nm ₃)	Taxa de Emissão Média (Kg/h)	Padrão de Emissão (mg/Nm ³)
MP	2015	100,55	4,75	150
SO ₂	2015	9,51	0,45	500
SO ₃ +	2015	0,72	0,03	500
H ₂ SO ₄				
SO _x	2015	10,24	0,48	500

Fonte: Adaptado pelo autor, 2016.

Como as partículas que vão para os filtros de mangas provêm de setores em que não há queima de coque verde de petróleo, baseou-se na resolução estadual do estado do Paraná 16/2014 – SEMA/PR, que define padrões de emissões por poluentes conforme o artigo 65 desta resolução.

A concentração nas emissões não devem ultrapassar os seguintes padrões:

- Para a emissão de Material Particulado Total com taxa de emissão até 0,5 kg/h: 250 mg/Nm³.
- Para a emissão de Material Particulado Total com taxa de emissão acima de 0,5 kg/h: 150 mg/Nm³.
- Para a emissão de substâncias gasosas inorgânicas de Classe IV, óxidos de enxofre (SO_x) e óxidos de nitrogênio (NO_x), com taxa de emissão por substância acima de 5 kg/h: 500 mg/Nm³.

Ao analisar os resultados obtidos nas amostragens, constatou-se que os três filtros de mangas estão dentro dos limites estabelecidos pela Resolução 16/2014 – SEMA/PR.

O filtro de mangas é o aparelho para tratamento de emissões com maior eficiência, chegando a 99,9 % de retenção de partículas. Porém o filtro de mangas não é resistente a altas temperaturas, sendo assim para emissões com altas temperaturas são indicados o ciclone e o lavador de gases.

O filtro de manga 01 estava com a umidade do ar do jato pulsante muito elevada, fazendo com que as partículas ficassem muito densas, obstruindo a passagem do ar limpo pela trama do meio filtrante. O tubo direcionador do jato de ar pulsante em alguns pontos estava desalinhado do furo do espelho das mangas, fazendo com que o jato de ar atingisse a lateral do espelho e não o centro da manga (Figura 35).

Figura 34 – Parte superior filtro de mangas, tubo soprador e espelho



Fonte: Do autor, 2016.

Foi observado que o filtro de manga 02 apresentou uma grande divergência nos resultados das emissões de particulado de 2014 para 2015. Isso pode ter ocorrido devido às condições do meio filtrante na época de amostragem.

Foi constatado que não há manutenção preventiva nos equipamentos de tratamento de emissões atmosféricas, não possuindo um cronograma para troca das mangas e não há estoque das mangas dos filtros de mangas.

5.2.2 Análises de qualidade do ar externo

Para a análise da qualidade do ar externo foi realizado o monitoramento com um Amostrador de Grande Volume (AGV), em um período de amostragem de quatro dias, vinte e quatro horas por dia em um único ponto. O objetivo da análise é monitorar a concentração das partículas totais em suspensão (PTS) em um ponto estratégico, a fim de avaliar se as concentrações de PTS ultrapassaram os limites estabelecidos.

A seguir será apresentada a tabela com os resultados obtidos nas amostragens. A tabela provém do relatório de avaliação da qualidade do ar, realizado pelo Laboratório de Análises Atmosféricas do Parque Científico e Tecnológico – IPARQUE-UNESC.

Tabela 8 – Resultados da qualidade do ar e dados meteorológicos

Data	PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	QAR	Vento v (m/s)	D	T ($^{\circ}\text{C}$)	Ppt (mm)	P (hPa)	U (%)
17/05/2016	413,06	Má	2	SO	12	0	1.015	68
18/05/2016	454,24	Má	1,7	SO	11	0	1,018	74
19/05/2016	402,92	Má	1,4	SO	11	0	1,023	76
20/05/2016	267,59	Inadequada	1	NO	11	2	1,021	86

Fonte: Adaptado pelo autor, 2016.

PTS: Concentração Média em 24h de Partículas Totais em Suspensão; QAR: Qualidade do Ar; V: Velocidade dos ventos; D: Direção dos ventos; T: Temperatura ($^{\circ}\text{C}$); ppt: Precipitação; P: Pressão Atmosférica; U: Umidade.

A avaliação foi realizada no período de 17/05/2016 até 21/05/2016, sendo que durante os três primeiros dias de amostragem a direção dos ventos predominante foi de Sudoeste e apenas no quarto dia a direção do vento foi de quadrante Noroeste. Não houve variações consideráveis na velocidade do vento e de temperatura, sendo que durante o período de amostragem o clima era úmido, porém sem chuva e com picos de radiação entre as 11 horas da manhã e uma hora da tarde. No último dia de amostragem, houve pouca precipitação, porém essa variação de precipitação não interferiu de forma significativa nos resultados, o fator que teve a maior contribuição nos resultados é a direção dos ventos.

A legislação aplicável para o monitoramento de PTS na qualidade do ar é a resolução CONAMA n^o. 003/1990. Conforme o artigo 3^o, o padrão primário para a geração de partículas totais em suspensão (PTS) não poderá ultrapassar o limite

médio em 24 horas de 240 microgramas por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), sendo que essa concentração não poderá ser ultrapassada mais de uma vez no ano.

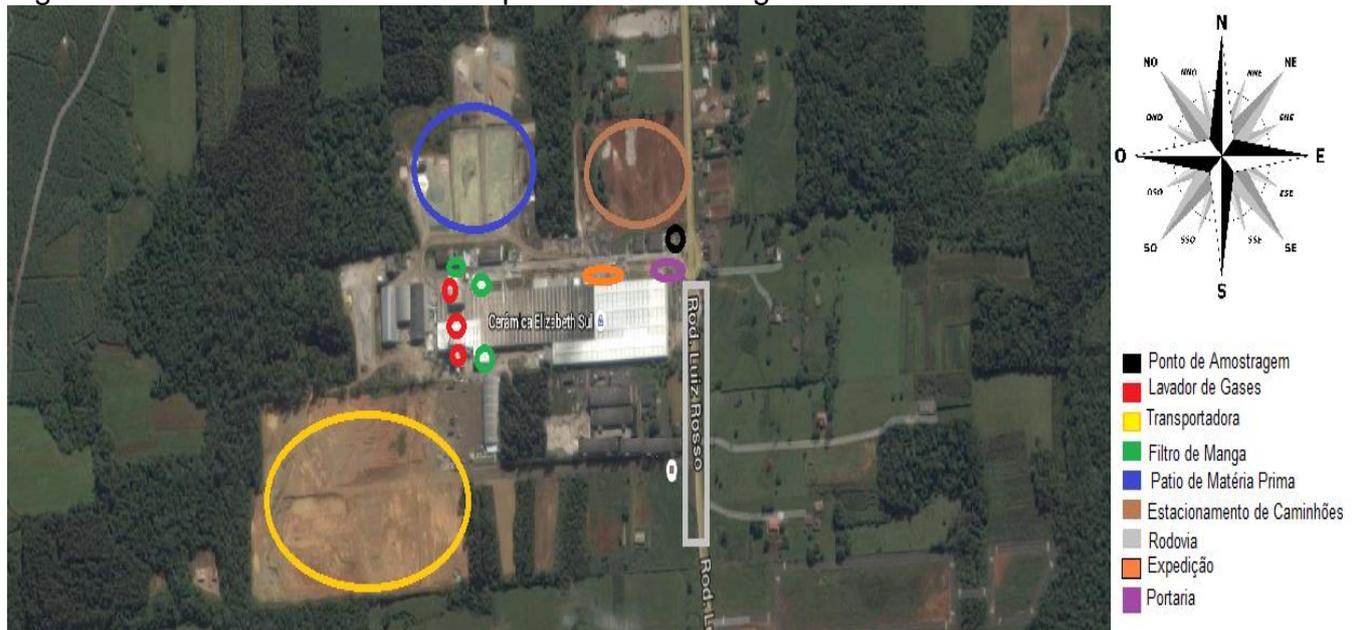
A resolução CONAMA n.º. 003/90 contempla no artigo 6º, níveis críticos de deterioração da qualidade do ar através das concentrações dos poluentes, também aplicável às partículas totais em suspensão (PTS). Os níveis críticos de deterioração da qualidade do ar são classificados em níveis de atenção, alerta e emergência. O nível de atenção ocorre quando a concentração média diária ultrapassa a concentração de $375 \mu\text{g}/\text{m}^3$. A qualidade do ar se encontra em nível de alerta quando a concentração média diária de PTS ultrapassar $625 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Para a qualidade do ar entrar em nível de emergência, a concentração média diária deverá atingir ou ultrapassar a concentração de $875 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Sendo assim, ao comparar os resultados obtidos nas amostragens com a Resolução CONAMA n.º. 003/90, pode-se observar que durante todo o período de amostragem as concentrações obtidas foram superiores ao padrão primário estabelecido na resolução. A Resolução vigente diz que os padrões primários não poderão ser ultrapassados mais de uma vez por ano e que se ultrapassado o limite de $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ irá afetar a saúde da população. No primeiro dia de amostragem, a concentração de PTS ultrapassou em 72% o limite estabelecido, no segundo dia ultrapassou 89,26 % do limite, no terceiro dia 67,88% e no quarto dia 11,49%.

Cabe ressaltar ainda que nos três primeiros dias de amostragens a qualidade do ar atingiu o nível de atenção, ultrapassando a concentração média de $375 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e se mantendo abaixo de $625 \mu\text{g}/\text{m}^3$, nível de alerta.

A Figura 36 expõe o ponto de amostragem e as possíveis fontes de emissão no entorno.

Figura 35 – Fontes de emissões e ponto de amostragem



Fonte: Do autor, 2016.

Levando em consideração as condições meteorológicas dos três primeiros dias, quando a direção predominante dos ventos foi de quadrante Sudoeste e no último dia o vento soprava de quadrante Noroeste, observa-se que a predominância do vento Sudoeste contribuiu para que as partículas oriundas dos sistemas de tratamento de emissões atmosféricas da atividade (lavadores de gases e filtros mangas), setor de expedição, portaria da empresa, bem como da transportadora vizinha ao empreendimento, fossem direcionadas diretamente para o ponto de amostragem. Já no último dia de amostragem o vento soprava de quadrante Noroeste, fazendo com que as partículas suspensas geradas pelo setor de expedição, portaria, lavador de gases, filtros de manga e a transportadora fossem direcionadas ao sentido oposto do amostrador de grande volume. As concentrações medidas no último dia de amostragem podem não ter sofrido muita influência dos setores de expedição, portaria, lavador de gases, filtros de manga e da transportadora. Pode-se dizer que a concentração medida no último dia de amostragem teve maior influência do estacionamento de caminhões, localizado a Noroeste do ponto de amostragem, bem como da rodovia e pátio de matéria prima.

O pátio de matéria prima fica localizado a Noroeste do ponto de amostragem. A área reservada para o armazenamento de matéria prima é cercada por uma

cortina verde, com o propósito de diminuir a velocidade dos ventos e conter a proliferação das partículas carregadas pelo vento (Figura 37).

Figura 36 – Pátio de matéria prima



Fonte: Do autor, 2016.

Outras fontes que podem influenciar na qualidade do ar no parque fabril da empresa são estradas sem pavimentação dentro da empresa, o grande fluxo de veículos na rodovia, indústria têxtil localizada ao norte da empresa e as áreas agrícolas no entorno do empreendimento.

Sendo assim, foi constatado que o pátio de matéria prima não foi o maior responsável pelas elevadas concentrações obtidas durante o monitoramento da qualidade do ar, porém isso afetou de forma indireta os resultados das amostragens, lembrando que boa parte dos caminhões que passam pela portaria da empresa e no estacionamento dos caminhões tem como função o transporte de matéria prima.

A partir da análise dos resultados do monitoramento da qualidade do ar, verificou-se que no período de amostragem as concentrações de PTS ultrapassaram os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA n°. 003/1990, gerando uma condição insalubre para os colaboradores, circunvizinhança e ao bem estar da população em geral.

Devido ao orçamento disponibilizado pela empresa, o monitoramento foi realizado em apenas um ponto, inviabilizando o diagnóstico sobre a influência da rodovia e o estacionamento dos carros e conseqüentemente não foram obtidos dados suficientes para analisar a influência do processo produtivo na qualidade do ar nas residências do entorno.

5.3 PROPOSIÇÕES DE MEDIDAS DE MELHORIAS E AVALIAÇÃO DAS MEDIDAS PROPOSTAS

Após a análise e discussão do diagnóstico da qualidade do ar interno e externo, foi possível concluir que as fontes geradoras de particulados alteram a qualidade do ar, sendo assim foram propostas sugestões de melhorias a fim de diminuir as emissões de particulados.

5.3.1 Medidas propostas para melhoria da qualidade do ar interno

Visivelmente o setor de preparação de massa é o maior contribuinte para a degradação da qualidade do ar interno. Para minimizar a dispersão de partículas durante o processo foram indicadas as seguintes melhorias:

Encalusuramento das correias: o enclausuramento das correias transportadoras irá fazer com que o material de baixa granulometria não se disperse durante o trajeto, ficando confinado na estrutura, diminuindo drasticamente a emissão do particulado no meio. Para a coleta do particulado confinado na estrutura, o ideal é instalar bandejas coletoras, que irão direcionar o particulado confinado para os recipientes de coleta. Esses recipientes de coletas podem ser vascas ou *big bags*. Em algumas correias transportadoras fica inviável a instalação de recipientes de coleta, já que algumas delas estão instaladas a quatro metros de altura. Nesse caso, deverá ser instalado um sistema de exaustão mecânica, que irá succionar o particulado através de dutos, encaminhando-os para um equipamento de tratamento. Sugere-se o uso de filtros de mangas, neste caso poderão ser utilizados os dutos já existentes para a captação do particulado ou instalar novos dutos de sucção, o que aumentaria o custo da melhoria.

Na etapa de atomização há uma grande dispersão de partículas, sendo que possuem baixa granulometria e teor de umidade, facilitando a dispersão no setor. Para a captação das partículas dispersas é utilizado o filtro de mangas. Para melhorar a captação dessas partículas, sugere-se a instalação de novos pontos de captação, alteração no trajeto dos dutos, diminuindo as curvas e proporcionando um fluxo de escoamento mais laminar.

Para o tratamento de gases e vapores gerados na etapa de atomização, é utilizado o sistema de tratamento de lavador de gases. A empresa conta com três lavadores de gases, sendo um lavador para cada atomizador e um atomizador para cada linha de produção. Os gases gerados na atomização provêm do fornecimento de calor pela fornalha que utiliza como combustível o coque verde de petróleo. Sugere-se a criação e aplicação de procedimentos operacionais para todos os equipamentos de tratamentos de emissões atmosféricas. No caso do lavador de gases, deverá ser criado um procedimento para realização de paradas para manutenção, em que todos os setores envolvidos sejam comunicados previamente para que tomem as devidas providências, a fim de diminuir o tempo de retomada do equipamento. É de suma importância que seja instalado um sensor de nível no tanque de água tratada que abastece os lavadores de gases, para que a reposição de água seja automática, garantindo que o tanque esteja sempre cheio, fornecendo a vazão necessária de água para os lavadores.

Para garantir que o pH da água que abastece os lavadores se mantenha entre 8 e 9, deverá ser criada uma planilha contendo as seguintes informações: pH na saída dos lavadores, pH no tanque de equalização na estação de tratamento de efluentes, pH no tanque de água limpa e vazão de dosagem do corretor de pH, vazão de dosagem de coagulante e vazão de dosagem e floculante. A dosagem do hidróxido de sódio utilizado para corrigir o pH ocorre através de uma bomba pneumática que é acionada por um pHmetro digital no tanque de equalização. A bomba é acionada quando o pH no tanque estiver menor do que 8 e quando ultrapassar o pH 9, a bomba é desativada automaticamente. O sensor que faz a leitura do pH para o pHmetro deverá ser calibrado com frequência para que trabalhe com exatidão nos resultados. Sendo assim, terá de ser criado um cronograma para calibrar os sensores de todos os pHmetros e fornecer treinamentos para que os operadores das estações de tratamento de efluentes possam realizar a calibração do equipamento.

Para melhorar a neutralização dos gases é indicado que a água para abastecimento dos lavadores de gases passe por um sistema de troca de calor. A água que abastece os lavadores possui uma temperatura em média de 60 °C, o ideal seria que a água entrasse nos lavadores a uma temperatura média de 25 °C.

Para aumentar o contato dos gases com a cortina de água nos lavadores de gases, deverão ser instalados bicos dispersores com maior área de abrangência, aumentando a neutralização dos metais presentes nos gases.

As prensas possuem o sistema de filtro de mangas para o abatimento do particulado. Porém em alguns instantes os mangotes flexíveis que se movimentam durante a prensagem se soltam ou não estão encaixados adequadamente, impedindo a captação das partículas (Figura 38). Para evitar que os mangotes se soltem, deverão ser instalados mangotes com engate fácil sob pressão e adicionados novos pontos de captação, a fim de diminuir a incidência de partículas suspensas no setor.

Figura 37 – Prensa com mangote solto



Fonte: Do autor, 2016.

Para melhorar a eficiência dos filtros de mangas, a umidade do jato de ar pulsante deverá ser reduzida, o que irá diminuir a oxidação dos espelhos e entupimento das tramas do meio filtrante. A instalação de novos pontos de captação de particulados deverá ser realizada através de cálculos de dimensionamento, caso contrário o equipamento poderá ficar subdimensionado. Deverá ser criado um cronograma para a realização das trocas de mangas e criado um estoque de mangas, possibilitando apenas a troca das mangas com defeito e não todo o conjunto, diminuindo o tempo de parada do equipamento e o desperdício de mangas.

Foi observado que a captação das partículas retidas no meio filtrante dos filtros de mangas 01 e 02 estão totalmente em desacordo. As partículas retidas no filtro de manga 01 caem em um *big bag*, porém é comum ver o *big bag* transbordando e muitas vezes rasgado. Já no filtro de mangas 02, as partículas são despejadas em um box aberto, sem cobertura alguma, fazendo com que as partículas se dispersem novamente pelo meio (Figura 39).

Figura 38 – Box filtro de mangas 02



Fonte: Do autor, 2016.

Para manter a eficiência dos filtros de mangas, o ideal seria colocar uma vasca lacrada com engate que possa ser conectada direto ao equipamento, evitando possíveis dispersões e facilitando o transporte do material coletado por empilhadeiras. Também deverá ser criado um cronograma para a retirada da vasca, evitando que ela transborde.

Para que os equipamentos de tratamento de emissões atmosféricas operem de forma adequada, terá de ser aplicado um programa de manutenção preventiva, garantindo a eficiência no tratamento de emissões e não contribuindo para a degradação da qualidade do ar externo.

No setor de polimento, é recomendado que sejam instalados exaustores eólicos no teto para que haja uma maior renovação do ar interno.

5.3.2 Medidas propostas para melhoria da qualidade do ar externo

A principal fonte de emissão no ambiente externo da empresa provém da circulação de veículos no parque fabril. Os principais setores responsáveis pela geração PTS são: matéria prima, depósito de matéria prima e expedição. Os

equipamentos de tratamento de emissões atmosféricas também contribuem para a degradação da qualidade do ar.

A estrada entre o depósito de matéria prima e o setor de matéria prima não é pavimentada, o que facilita a dispersão de particulados durante o trajeto. Para evitar que haja a geração de PTS, o ideal seria que a estrada fosse pavimentada, o que diminuiria muito a geração de partículas em suspensão. Quando realizado esse trajeto, os veículos ficam com os pneus muito sujos, sendo que no trajeto de volta o veículo acaba espalhando torrões de argila pela empresa, sujando a balança na portaria e a rodovia em frente. Para evitar que isso aconteça, foi construída uma lavação de pneus, em que o motorista de cada veículo é responsável por tal ação (Figura 40).

Figura 39 – Lavação de pneus



Fonte: Do autor, 2016.

A lavação de pneus é uma medida mitigadora, pois não acaba com o problema e sim evita que ocorra a dispersão da sujeira. Muitos motoristas não atendem às recomendações para lavar o seu veículo, portanto seria ideal que a empresa contratasse uma pessoa para ficar responsável por lavar os pneus dos veículos, garantindo que irão sair da empresa limpos. Os caminhões que entram na empresa com destino ao setor de expedição transitam apenas em estradas pavimentadas, mas, mesmo assim, a geração de particulados é considerável. As

partículas emitidas nessa situação são provenientes dos equipamentos de tratamento de emissões atmosféricas, depósito de matéria prima, estacionamento de caminhões e de fontes externas que acabam sendo transportadas pelo vento.

Para minimizar a geração de partículas em suspensão, é realizado o umedecimento da entrada da empresa, da balança da portaria, estrada pavimentada no interior da empresa e a rodovia em frente à empresa. O umedecimento é realizado por caminhão pipa, através de um jato de pressão (Figura 41).

Figura 40 – Umedecimento



Fonte: Do autor, 2016.

Para evitar que as partículas fiquem em suspensão durante o fluxo de veículo, serão apresentadas algumas medidas mitigadoras com o intuito de amenizar o impacto causado.

A pavimentação do estacionamento dos caminhões irá evitar que haja dispersão de partículas e irá manter os pneus dos caminhões limpos, o que irá evitar a contaminação de outras áreas.

A instalação de uma tubulação com água, com pequenos furos ou com dispersores com o intuito de pulverizar água ou um umidificador na estrada. A tubulação deverá partir da balança da portaria até as proximidades da lavagem de pneus. Para garantir a eficiência desta medida de melhoria, será necessária uma bomba de alta potência, para que a pulverização atinja todas as extremidades da

estrada. O funcionamento deverá ocorrer em batelada, sendo acionado somente quando houver o fluxo de caminhões, evitando o desperdício de água ou produto.

A criação de uma cortina verde em frente ao estacionamento de caminhões e carros, a fim de conter as partículas para que não migrem para a rodovia e as residências no entorno.

6 CONCLUSÃO

O desenvolvimento deste trabalho teve o objetivo de analisar a qualidade do ar interno e externo de uma indústria de revestimentos cerâmicos, levando em consideração as limitações do processo produtivo. O presente trabalho identificou alguns problemas referentes à poluição atmosférica, desconhecidos pela empresa.

No decorrer deste trabalho, pode-se observar que os setores que mais interferem na qualidade do ar interno são os setores de matéria prima e de prensagem. No setor de matéria prima, a emissão de particulado ocorre durante o trajeto entre os atomizadores e os tanques de armazenamento, e dos tanques de armazenamento para as prensas. Foi concluído que as condições nesses setores são insalubres, sendo obrigatório o uso de EPI's. Foram propostas melhorias a fim de minimizar a geração de particulados e melhorar a captação destes.

Na análise das emissões atmosféricas, os resultados foram satisfatórios, sendo que as concentrações das emissões apresentaram melhoras no decorrer dos anos de 2014 para 2015, estando dentro dos limites estabelecidos pela resolução vigente no ano de 2015. A partir da realização do diagnóstico da qualidade do ar interno, pode-se identificar as principais não conformidades que interferem diretamente na eficiência dos equipamentos de tratamento de emissões atmosféricas. Muitas das não conformidades ocorrem devido à falta de comunicação e planejamento entre os setores, ficando nítida a falha dos procedimentos de operação quando envolve mais de um setor.

Na ETE que trata o efluente que posteriormente será utilizado lavador de gases, a falta de controle de alguns parâmetros envolvendo dosagem de produtos químicos, vazão de efluente, tempo de decantação, bem como a identificação de alta umidade do ar comprimido nos filtros de mangas comprometem a eficiência no tratamento das emissões atmosféricas. Sendo que os dados obtidos foram decorrentes do acompanhamento intensivo do processo e dos resultados de análises atmosféricas por empresas terceirizadas.

A partir do diagnóstico da qualidade do ar externo, pode-se conhecer as principais fontes de emissão de particulados, sendo elas fontes estacionárias como as chaminés dos lavadores de gases e filtro de mangas e fontes fugitivas como o pátio de matéria prima, estacionamento de caminhões, estrada sem pavimentação, fluxo de veículos e setor de expedição. Por meio do levantamento das fontes de

emissões, foi realizado um monitoramento da qualidade do ar através de um Amostrador de Grande Volume com a intenção de monitorar as partículas totais em suspensão. O ponto de amostragem foi definido levando em consideração fatores como fluxo de pessoas e caminhões, direção predominante dos ventos e também levando em consideração as fontes de emissões estacionárias e fugitivas, de acordo com o diagnóstico da qualidade do ar externo.

O tempo de amostragem e o número de pontos não foram ideais para identificar com precisão a influência que cada fonte de emissão tem sobre os resultados. Avaliando de forma geral, a qualidade do ar no empreendimento não está adequada conforme a resolução, sendo que em quatro dias de monitoramento os resultados obtidos na amostragem foram superiores aos padrões de emissão de partículas totais em suspensão. O ponto de amostragem fica localizado entre a portaria da empresa e o estacionamento de caminhões, sendo que na portaria há um grande fluxo de pessoas e essas pessoas não utilizam máscaras de proteção respiratória, equipamento de proteção individual, condição essa essencial para a qualidade do ar do ambiente.

Recomenda-se, para a realização de novos trabalhos, o monitoramento de PTS nas residências do entorno do empreendimento, a fim de avaliar a influência do empreendimento na qualidade do ar na circunvizinhança e também o monitoramento em mais pontos, durante um período de amostragem maior. Levantamento nos postos de saúde de doenças da população que possam estar vinculadas as poluentes emitidos no processo produtivo.

Durante a análise dos dados, ficaram claras as limitações das leis relacionadas à poluição atmosférica. O estado de Santa Catarina possui um polo cerâmico e outros ramos industriais que utilizam como combustível coque verde de petróleo e carvão mineral, porém não possui uma legislação que define padrões de emissões para a queima desses combustíveis, lembrando que os resultados foram comparados com as resoluções federais e estaduais de outros estados. A falta de interesse do poder público referente à elaboração de leis e fiscalização facilita para que muitas empresas não se preocupem com a qualidade das emissões geradas pelos seus processos produtivos.

No início do trabalho de conclusão de curso, era dada pouca importância aos equipamentos de tratamento de emissões atmosféricas e a qualidade do ar no parque fabril. Durante realização do trabalho, foram levantadas questões

relacionadas às emissões atmosféricas, das quais a empresa não tinha conhecimento. Sendo assim, o mérito obtido neste trabalho veio a partir do momento em que a empresa começou a se preocupar com esses parâmetros, a fim de melhorar as condições da qualidade do ar para que todas as pessoas que tenham contato de forma direta ou indireta no processo produtivo não sejam afetadas pelo processo produtivo.

REFERÊNCIAS

AMBONI, Nério. **O Caso CECRISA S.A.:** uma aprendizagem que deu certo. As Matérias Primas Cerâmicas. Parte II: Os minerais industriais e as massas da cerâmica tradicional. São Paulo, Volume 7, 2002.

ANVISA, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. Diversos. São Paulo: **ABCERAM**, 2015. Disponível em: <<http://www.abceram.org.br/asp/abc>>. Acesso em: 16 jan. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12019:** Efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias – Determinação de material particulado – Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1990.

_____. **NBR 1202:** Determinação de pontos de amostragem em dutos e chaminés de fontes estacionárias - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1990.

_____. **NBR 12019:** Efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias – Determinação de material particulado – Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1990.

_____. **NBR 18801:** Sistema de Gestão de Segurança e Saúde no Trabalho. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

_____. **NBR 9547:** Material particulado em suspensão no ar ambiente – Determinação da concentração total pelo método do amostrador de grande volume. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTOS. Diversos. São Paulo: **ANFACER**, 2016. Disponível em: <<http://www.anfacer.org.br/#!historia-ceramica/c207w>>. Acesso em: 05 mar. 2016.

BARCHINSKI, Rodrigo da Silva. **POTENCIAL EFEITO TÓXICO E REUTILIZAÇÃO DE EFLUENTES E PLACAS DE RESÍDUOS SÓLIDOS GERADOS NO PROCESSO DE LAVAÇÃO DE GASES EM INDÚSTRIA CERÂMICA.** Criciúma/SC, 2009, p.16.

BASTO, José Edson. Qualidade do Ar Interno. In: **Congresso Nacional de Engenharia de Segurança do Trabalho e Congresso Líbero-Americano de Engenharia de Segurança do Trabalho.** v. 10. Itajaí/SC, 2007.

BRAGA, Benedito *et al.* **Introdução a Engenharia Ambiental.** São Paulo: Prentice Hall, 2003.

BRANCO, Samuel Murgel; MURGEL, Eduardo. **Poluição do Ar**. 1. ed. São Paulo: Moderna, 1995.

BRASIL. Resolução 003 de 28 de junho de 1990: Dispões sobre padrões de qualidade do ar previstos no PRONAR. Órgão emissor: Conselho Nacional do Meio Ambiente. **[Diário Oficial da União]**. Brasília: CONAMA, 22 de agosto de 1990. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_1990_003.df>. Acesso em: 14 mar. 2016.

_____. Resolução 382 de 26 de dezembro de 2006. Dispõe sobre limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. Órgão emissor: Conselho Nacional do Meio Ambiente. **[Diário Oficial da União]**. Brasília: CONAMA, 02 de Janeiro de 2007. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=520>>. Acesso em: 05 mar. 2016.

_____. Resolução RE nº 9, 16 de janeiro de 2003. Determina a publicação de Orientação Técnica elaborada por Grupo Técnico Assessor, sobre Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior, em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo. Órgão emissor: ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Brasília: **[Diário Oficial da União]**, 20 de janeiro de 2003. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/d094d3004e5f8dee981ddcd762e8a5ec/Resolucao_RE_n_09.pdf?MOD=AJPERES>. Acesso em: 02 mar. 2016.

_____. Resolução 16 de 2014 – SEMA/PR. define critérios para o Controle da Qualidade do Ar como um dos instrumentos básicos da gestão ambiental para proteção da saúde e bem estar da população e melhoria da qualidade de vida, com o objetivo de permitir o desenvolvimento econômico e social do Estado de forma ambientalmente segura, e dá outras providencias. **[Diário Oficial da União]**. Paraná: SEMA, 15 de Abril de 2014. Disponível em: <http://www.iap.pr.gov.br/pagina-934.html> . Acesso em: 05 mar. 2016.

BRISTOT, V. M. **Máquinas e Equipamentos para Cerâmica**. 1. ed. Luana, Criciúma, 1996, 353p.

CARMO, Adriano Trotta; PRADO, Racine Tadeu Araujo. **Qualidade do ar interno**. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1999. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/antigo/arquivos/publicacoes/racine-iaq.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2016.

CLEZAR, Carlos Alfredo; NOGUEIRA, Antônio Carlos Ribeiro. **Ventilação industrial**. Florianópolis: UFSC, 1999. 298 p.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Tecnologia de Controle da Poluição do Ar para Material Particulado, Gases, Vapores e Odores e Verificação de Sistemas: **Cadernos da Gestão do Conhecimento**. São Paulo: CETESB, 2010. Disponível em <<http://ar.cetesb.sp.gov.br/padroes-de-qualidade-do-ar/>>. Acesso em: 05 fev.2016.

DA LUZ, Adão Benvindo; COELHO, José Mario. **Rochas e Minerais Industriais**.

P.413 – 423, 2005. Disponível em:

<<http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/handle/cetem/1055/19.FELDSPATO%20ok.pdf?sequence=>>. Acesso em: 05 fev.2016.

DEMO, Pedro. **Metodologia Científica em Ciências Sociais**. 3 ed. rev. e ampl. São Paulo: Atlas, 1995.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Talco e Pirofilita**.

DNPM. p. 482-492. Disponível em:

<https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=3997>. Acesso em: 05 fev.2016.

DERISIO, José Carlos. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

Disponível em: <<http://www.cetem.gov.br/agrominerais/teste/livros/16-agrominerais-calcario-dolomito.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2016.

Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/77230>>. Acesso em: 05 mar. 2016.

ESMANHOTO, Eliseu. **Desenvolvimento de Sistema de Amostragem Isocinética com Análise Quantitativa de Material Particulado em Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias**. 89f. (Dissertação). Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2010.

FERNANDES, Paulo Sérgio. **Gestão de Fontes Estacionárias de Poluição Atmosférica**. cp.3, p.181. São Paulo/SP, 2003.

FONSECA, A. T. **Tecnologia do Processamento Cerâmico**. Lisboa: Universidade Aberta, 2000, 554p.

FUNDAÇÃO DE PROTEÇÃO AMBIENTAL. **Monitoramento da Qualidade do Ar**.

FEPAM. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/monitor_ar.asp>.

Acesso em: 20 de mar. 2016.

GIODA, Adriana; NETO, Francisco Radler de Aquino. **Considerações sobre estudos de ambientes industriais e não industriais no Brasil: uma abordagem comparativa**. Rio de Janeiro, 2003, p. 1390-1396. <Disponível em:

<http://www.scielo.br/pdf/csp/v19n5/17811.pdf>>. Acesso em: 20 de mar. 2016.

GOMES, João. **Poluição Atmosférica: Um manual Universitário**. 2. ed. Porto: Publindústria, 2010. 266 p.

INSTITUTO DE FÍSICA GLEB WATAGHIN - IFGW. Estrutura da Pesquisa. 2015.

Disponível em: <http://portal.ifi.unicamp.br/>. Acesso em: 12.03.2016

JARDILINO, José Rubens, ROSSI, Gisele, SANTOS, Gérson Tenório. **Orientações Metodológicas para Elaboração de Trabalhos Acadêmicos**. São Paulo: Gion, 2000, (p.35-39 e p.48-49).

JAVIER, Lezaun Navarro. **DEPURACION de los gases de combustión em la indústria cerâmica, 2º edición, 2001.**

LISBOA, Henrique de Melo. Ventilação Industrial. In: _____. **Controle da poluição atmosférica. Florianópolis:** ENS/UFSC, 2007. Cap. VI, p. 1-63. Disponível em: <http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM120/CapVentilacaoIndustrial_GERAL.pdf>. Acesso em: 08 abr. 2016.

MACINTYRE, Archibald Joseph. **Ventilação Industrial e Controle da Poluição.** 2a.ed. Rio de Janeiro: LTC, 1990, 403 p.

MARINO, Luiz Fernando Bruno; Bosch, Anselmo Ortega. **A Expansão Térmica de Matérias Cerâmicos.** Parte III: Efeitos de adição da calcita. Volume 3, 1998.

MORAIS, Alexandre Peris. **Qualidade do ar Interno com Ênfase na Concentração de Aerodispersóides nos Edifícios.** São Paulo, 2006. Disponível em: <[file:///C:/Users/usuario/Downloads/AlexandrePerrideMoraesdissertacaoedrevisada%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/usuario/Downloads/AlexandrePerrideMoraesdissertacaoedrevisada%20(1).pdf)>. Acesso em: 08 abr. 2016.

MOTTA, José Francisco Marciano; ZANARDO, Antenor; CABRAL JUNIOR. **As Matérias-Primas Cerâmicas. Parte I: O Perfil das Principais Indústrias Cerâmicas e Seus Produtos.** Cerâmica Industrial, São Paulo/SP, v.6, n.2, p. 28-39, Março/Abril 2001.

MOTTA, José Francisco Marciano; ZANARDO, Antenor; CABRAL JUNIOR. TANNO, Luiz Carlos. **Panorama das matérias-primas utilizadas na indústria de revestimentos cerâmicos: desafios ao setor produtivo.** São Paulo/SP, v.3, p. 30-38. 1998.

NAVARRO, Javier Lezaun. **Depuracion de los gases de combustión de la indústria cerâmica.** 2. ed. 2001.

OLIVEIRA, A.P.N. Tecnologia de fabricação de revestimentos cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, v.5, p. 37-47, 2000.

PIMENTA, Teófilo Antonio Máximo; RIBEIRO, Débora Inácia; LEÃO, Marluce Auxiliadora Borges Glaus; ROCHA, Renato. **Saúde do Profissional da Área da Saúde e Produção Científica na Scielo: Revisão Integrativa.** p. 4884 – 4891. 2013. Disponível em: <http://www.revista.ufpe.br/revistaenfermagem/index.php/revista/article/viewFile/2531/pdf_3020>. Acesso em: 20 mar. 2016.

QUADROS, Marina Eller; LISBOA, Henrique de Melo. Qualidade do ar interno. In: LISBOA, Henrique de Melo. **Controle da poluição atmosférica.** Florianópolis: ENS/UFSC, 2010. Cap. IX, p. 1-37. Disponível em: <<http://www.lcqar.ufsc.br/adm/aula/Capitulo%209%20Ar%20Interno.pdf>>. Acesso

em: 10 de Abril, 2016

RESENDE, Fernando. **Poluição Atmosférica Por Material Particulado: Avaliação de Canteiros de Obras de Edifícios**. São Paulo, 2007. P. 29 – 156.

RIBEIRO, M.J et al. **A Atomização como Processo de Obtenção de Pós para a Indústria Cerâmica**. Instituto Politécnico de Viana do Castelo, Portugal, 2001, 21p.

ROCHA, Julio Cesar; ROSA, André Henrique; CARDOSOS, Arnaldo Alves **Introdução à Química Ambiental**. Porto Alegre: Bookman, 2004. Disponível em: <<http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/poluentes.asp>>. Acesso em: 20 mar. 2016.

SAMPAIO, João Alves; ALMEIDA, Salvador Luiz Matos. **Calcário e Dolomito**. 2005.

TANNO, MOTTA, CABRAL JÚNIOR, 2001

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. **Instituto de Física**. “Gleb Wataghin”. Pesquisas Básicas e Aplicadas. São Paulo: Disponível em: <<http://portal.ifi.unicamp.br/pesquisa?showall=1&limitstart=>>>. Acesso em: 23 mar. 2016.

VERANI, Luiz Henrique Westphal. Contaminantes Químicos. **Apostila do CEST**. Florianópolis: UFSC, 2003, 147 p.

VESILIND, P. Aarne; MORGAN, Susan M. **Introdução à Engenharia Ambiental**. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

WAGNER, J.H. et al. **Indústria Catarinense de Cerâmica de Revestimento**. BADESC, Florianópolis, 1990, 77p.

ZURITA, Manoel Luiz Leite; TOLFO, Alessandra Moschem. **A qualidade do ar em Porto Alegre**. Porto Alegre: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 2000.