

UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE – UNESC

CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

JHON LENO ORSOLIN

**REAPROVEITAMENTO DO RESÍDUO GERADO NO LAVADOR DE GASES EM
PROCESSO DE PORCELANATO ESMALTADO. ESTUDO DE CASO: CERÂMICA
ELIZABETH SUL LTDA (CRICIÚMA, SC)**

CRICIÚMA, NOVEMBRO DE 2012

JHON LENO ORSOLIN

**REAPROVEITAMENTO DO RESÍDUO GERADO NO LAVADOR DE GASES
EM PROCESSO DE PORCELANATO ESMALTADO. ESTUDO DE CASO:
CERÂMICA ELIZABETH SUL LTDA (CRICIÚMA, SC)**

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

Orientadora: Prof. Msc. Marta Valéria Guimarães de Souza Hoffmann

CRICIÚMA, NOVEMBRO DE 2012

JHON LENO OROSOLIN

**REAPROVEITAMENTO DO RESÍDUO GERADO NO LAVADOR DE GASES
EM PROCESSO DE PORCELANATO ESMALTADO. ESTUDO DE CASO:
CERÂMICA ELIZABETH SUL LTDA (CRICIÚMA, SC)**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela banca examinadora para obtenção do Grau de Engenheiro Ambiental, no curso de Engenharia Ambiental da Universidade do Extremos Sul Catarinense, UNESC, com linha de pesquisa em Tratamento e Destino Final de Resíduos Sólidos

Criciúma, 28 de novembro de 2012.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Marta Valéria Guimarães de Souza Hoffmann – Mestre – (UNESC) - Orientadora

Prof. Mário Ricardo Guadagnin – Mestre – (UNESC)

Prof. Nadja Zim Alexandre – Mestre – (UNESC)

A todas as pessoas que de uma maneira ou outra me apoiaram nessa caminhada de 5 anos, em especial, a meus pais Deocir e Marli, meu irmão Jhonatan e minha namorada Graciela que nunca mediram esforços para me ajudar a alcançar este objetivo.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, o criador de tudo, pois sem ele nada seria possível.

Agradeço também aos meus pais Deocir e Marli Orsolin, que foram meus primeiros professores, ensinando a respeitar e amar a vida do jeito que ela é, por todo o amor, atenção e apoio que me deram mesmo estando distantes.

Ao meu irmão Jhonatan Orsolin, que também sabe muito bem a dificuldade que é estar longe da família em busca do conhecimento.

À minha namorada Graciela Schneider, por todo o suporte que me deu nesse período de conclusão de curso, pela paciência e compreensão nos momentos difíceis, não medindo esforços para me ajudar na conquista desta etapa da minha vida.

Aos meus futuros sogros, Lucio e Ermelita Schneider, minha segunda família, que através de gestos e palavras me incentivaram na conquista deste objetivo.

Meu avô Deolino Orsolin, um exemplo de vida a ser seguido, que infelizmente já nos deixou e avó Domingas Orsolin.

A todos os profissionais da Cerâmica Elizabeth, pela oportunidade de fazer parte desta família e pelo apoio durante o período de desenvolvimento da pesquisa. Em especial ao Gerente Industrial Édio Destro, pela confiança em mim depositada, ao meu Supervisor de Campo Eng. Rodrigo Barchinski e ao Eng. Patrick Henrique, que nesse período de pesquisa sempre estiveram à disposição para sanar as minhas dúvidas e orientar no andamento do trabalho e também pela experiência profissional passada para a realização deste.

À professora Marta, minha orientadora, que sempre esteve à disposição para orientar na realização deste, por toda a paciência, tempo dedicado e conhecimento transmitido.

A todos os meus professores, que contribuíram para minha formação profissional, em especial, ao professor Mário e à professora Nadja, que aceitaram o convite para banca, e à professora Julieta Ferronato, que foi quem me indicou a fazer o curso de Engenharia Ambiental.

A todos os amigos que encontrei nessa caminhada, e que de alguma ou outra forma me apoiaram.

E em fim, é claro que não poderia faltar, a todos meus colegas de graduação, pelos momentos felizes e muitos difíceis que passamos juntos, obrigado pelos momentos de estudo, pelas festas e momentos de distração.

**O único lugar onde o sucesso vem
antes do trabalho é no dicionário.**
Albert Einstein

RESUMO

Apesar da expressiva importância da cerâmica para a história da humanidade, é fato a geração de resíduos e a crescente preocupação das empresas com estes. Através do tratamento de efluentes, é gerado o lodo cerâmico. Este resíduo é possível de reaproveitamento na própria indústria, mas para isso se faz necessário uma caracterização completa do mesmo para a prevenção de resultados indesejáveis no processo ou produto final. A geração de resíduos é um indicativo de ineficiência no processo e o seu reaproveitamento é uma oportunidade de melhoria, diminuindo as perdas na produção. Neste sentido, a Produção Mais Limpa é uma importante ferramenta que prima para a melhoria da conduta ambiental das empresas, auxiliando na evolução das políticas de controle da poluição conhecidas como “fim-de-tubo” para as tendências baseadas no princípio da prevenção, proporcionando redução de custos de produção e aumento de eficiência e competitividade. Através de análises químicas e físicas, e de comparações entre o produto padrão e o produto desenvolvido através da incorporação de lodo, o presente trabalho buscou analisar a viabilidade técnica para reaproveitar o resíduo gerado no lavador de gases no processo produtivo de porcelanato esmaltado. Para isso foi realizado a caracterização do mesmo através de análises físico- químicas, definidos percentuais de adição à massa do produto porcelanato esmaltado e realizados testes físicos do produto, com o objetivo de encontrar uma porcentagem ideal para a incorporação do resíduo no processo de produção sem que o mesmo comprometa as propriedades do produto final. O estudo foi desenvolvido na linha de produção e no laboratório da Cerâmica Elizabeth Sul Ltda, em Criciúma, SC. Nas análises realizadas, encontraram-se como principais fatores limitantes para a incorporação do resíduo, os sulfatos, a matéria orgânica e a granulometria do mesmo, interferindo na viscosidade da barbotina, no coração negro e na carga de ruptura dos produtos ensaiados. Assim, o estudo apresentou valores favoráveis à introdução do resíduo para uma quantidade de até 1% em sólidos, que podem ser adicionados tanto na forma de massa seca, juntamente com as demais matérias-primas, ou em forma de solução (lodo adensado), juntamente com a água para moagem.

PALAVRAS-CHAVE: Porcelanato esmaltado. Resíduo do lavador de gases. Produção mais limpa.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01: Princípios Hierárquicos da P+L: O que fazer com os resíduos?	40
Figura 02: Mapa de Localização da Empresa	43
Figura 03: Etapas do processo de produção de porcelanato esmaltado na Cerâmica Elizabeth Sul Ltda.	44
Figura 04: Etapas do processo de tratamento de água e geração de placas de resíduo proveniente do lavador de gases	45
Figura 05: Densidade Aparente Seco	59
Figura 06: Densidade Aparente de Queima	59
Figura 07: Retração de Queima	60
Figura 08: Absorção de Água.....	61
Figura 09: Deformação nas peças de RLG a partir da temperatura de 1090 °C	61
Figura 10: Perda ao Fogo	62
Figura 11: Densidade Aparente Seca: Diluições.....	63
Figura 12: Densidade Aparente de Queima: Diluições.....	63
Figura 13: Retração de Queima: Diluições.....	64
Figura 14: Absorção de Água: Diluições	65
Figura 15: Deformação nas peças de maior temperatura de queima.....	65
Figura 16: Perda ao Fogo: Diluições	66
Figura 17: Visualização do Coração Negro na comparação STD e RLG (A) e nas diluições STD, 1%, 5%, 10% e 20% (B).....	67
Figura 18: Comparação da carga de ruptura das peças STD e das peças de RLG..	68
Figura 19: Peças queimadas STD (E) e RLG (D).....	68
Figura 20: Carga de ruptura seca: Diluições	69
Figura 21: Carga de ruptura de queima: Diluições	69
Figura 22: Peças utilizadas para cálculo de ruptura de queima nas concentrações STD, 1%, 5%, 10% e 20%	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Análise química do resíduo do lavador de gases no Laboratório SENAI	54
Tabela 02: Análise química da massa padrão.....	54
Tabela 03: Análise química do resíduo do lavador de gases realizada pelo IPAT	56
Tabela 04: Análise da barbotina na comparação de STD e RLG.....	57
Tabela 05: Influência do RLG na reologia da barbotina STD	58
Tabela 06: Quantificação de resíduo gerado no Lavador de Gases	71

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Principais contaminantes removidos no processo de lavação de gases .	32
Quadro 2: Caracterização do efluente do lavador de gases não tratado e tratado em ETE	33
Quadro 3: Parâmetros de avaliação da reatividade das placas de resíduos sólidos e valores de referência da NBR 10004/2004	33
Quadro 4: Parâmetros de avaliação da toxicidade das placas de resíduos e valores de referência previstos pela NBR 10004/2004	34
Quadro 5 Parâmetros de solubilização das placas de resíduos sólidos com valores de referência previstos pela NBR 10004/2004	34
Quadro 6: Relação de laboratórios e parâmetros analisados	47
Quadro 7: Relação de análises da massa padrão.....	48
Quadro 8: Metodologia de obtenção de valores para análise física	49
Quadro 9: Relação de temperatura de queima e análises obtidas de cada tamanho	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CNTL – Centro Nacional de Tecnologias Limpas
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
COV's – Compostos Orgânicos Voláteis
CR – Carga de Ruptura
CVP – Coque Verde de Petróleo
Dap. seca – Densidade Aparente Seca
Dap. queima – Densidade Aparente de Queima
Eq – Empuxo de queima
Es – Empuxo seco
ETE – Estação de Tratamento de Efluente
F – Força
NBR – Norma Brasileira
P+L – Produção Mais Limpa
Pa – Peso absorvido
pH - Potencial Hidrogeniônico
PL – Produção Limpa
PNRS – Política Nacional dos Resíduos Sólidos
PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
Pq – Peso de queima
Ps – Peso seco
Pu – Peso úmido
RLG – Resíduo do Lavador de Gases
STD – Standart (Padrão)
UNEP – United Nations Environment Programme

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVO GERAL.....	16
1.1.1 Objetivos específicos.....	16
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
2.1 HISTÓRIA DA CERÂMICA	18
2.2 PROCESSO CERÂMICO	20
2.2.1 Matérias-Primas	20
2.2.2 Processo Produtivo	21
2.2.3 Características físico-químicas.....	25
2.2.4 Defeitos comuns de fabricação	25
2.3 ALTERAÇÕES AMBIENTAIS DECORRENTES DO PROCESSO CERÂMICO...29	
2.4 PROCESSO DE LAVAÇÃO DE GASES E GERAÇÃO DE PLACAS DE RESÍDUO	31
2.4.1 Caracterização das Placas de Resíduo.....	33
2.5 REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS NA INDÚSTRIA CERÂMICA.....	35
2.6 PRODUÇÃO LIMPA E PRODUÇÃO MAIS LIMPA.....	37
3. ESTUDO DE CASO	43
3.1 HISTÓRICO.....	43
3.2 PROCESSO PRODUTIVO	44
3.3 TRATAMENTO DE EFLUENTE GERADO NO LAVADOR DE GASES E GERAÇÃO DE RESÍDUOS.	45
4. METODOLOGIA	47
4.1 COLETA DE AMOSTRA E CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO RESÍDUO DO LAVADOR DE GASES (RLG) E DA MASSA PADRÃO (STD)	47
4.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA MASSA DE PORCELANATO ESMALTADO PADRÃO E RESÍDUO	48
4.3 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	50
4.3.1 Coração negro e carga de ruptura	50
4.4 FORMULAÇÕES.....	51
4.5 QUANTIFICAÇÃO DE LODO ADENSADO GERADO	52
4.6 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS.....	53

5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISES DOS DADOS	54
5.1 ANÁLISES QUÍMICAS.....	54
5.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA	57
5.2.1 Barbotina.....	57
5.2.2 Corpos de Prova	58
5.2.3 Coração Negro	66
5.2.4 Carga de ruptura	67
5.3 QUANTIFICAÇÃO DE RESÍDUO GERADO	70
6. CONCLUSÃO	72
7. REFERÊNCIAS.....	75
APÊNDICE.....	81
ANEXOS	88

1. INTRODUÇÃO

A cerâmica é o material artificial mais antigo produzido pelo homem. Começou a ser produzida ainda no período neolítico, sendo um dos acontecimentos de mais transcendente importância na história da humanidade (ANFACER, 2012). Por ser um material resistente, impermeável e de fácil fabricação, já foi utilizado pelo homem para armazenar água, alimentos colhidos e sementes. Hoje a cerâmica pode auxiliar na área científica, como na medicina e pecuária, além da ornamentação através dos revestimentos cerâmicos.

O Brasil é um dos países com maior produção e consumo de revestimentos cerâmicos, e a região de Criciúma, além de concentrar as maiores empresas brasileiras deste ramo, possui reconhecimento como polo internacional (ANFACER, 2012). Nesse contexto, insere-se a Cerâmica Elizabeth Sul Ltda, localizada na rodovia Luiz Rosso, km 07, no município de Criciúma, SC.

São vários os exemplos de perdas e emissões que podem ocorrer nos processos produtivos das empresas. Atualmente, muitas vezes em resposta a exigências legais, é fato a crescente preocupação ambiental das empresas, que, juntamente com o aumento da competitividade, investem na prevenção e controle dessas perdas e emissões, tanto para fins ambientais quanto de marketing.

As indústrias cerâmicas que utilizam sistema de moagem por via úmida, através do processo de atomização, geram emissões atmosféricas que são imprescindíveis de tratamento. Em geral, esse tratamento acontece em lavadores de gases, que por sua vez geram efluentes.

Devido ao tratamento de efluentes em ETE's, as indústrias cerâmicas geram o chamado "lodo cerâmico", que pode ter um custo significativo tanto para o tratamento, quanto para a disposição final, e à medida que aumenta este custo, as opções de uso têm sido propostas, porém estas opções devem ser economicamente viáveis e ambientalmente saudáveis (TOWNSEND et al, 2001 apud ALQAM; JAMRAH; DAGHLAS, 2011). A reutilização do lodo cerâmico tem um importante papel na economia e na diminuição da poluição ambiental (CASAGRANDE et al 2008).

No âmbito da gestão ambiental, a reutilização ou reciclagem de resíduos são etapas da Produção mais Limpa, a qual possibilita a indústria manejar de uma forma mais eficiente os seus problemas de processos, produtos e serviços, conduzindo a

uma redução da necessidade por tecnologias de fim-de-tubo, ou em alguns casos até mesmo a eliminação destas.

Aproximadamente 50% da poluição gerada em vários países poderia ser evitada somente com a melhoria em práticas de operação e mudanças simples de processos (NASCIMENTO, 2008).

Partindo de que o resíduo é um indicativo de ineficiência, e tendo em vista a evolução das políticas de controle da poluição para tendências baseadas no princípio da prevenção, este trabalho tem por objetivo analisar a viabilidade técnica para o reaproveitamento do resíduo gerado no lavador de gases da Cerâmica Elizabeth Sul Ltda em seu processo produtivo do porcelanato esmaltado.

Inserido na linha de pesquisa de tratamento e destino final de resíduos sólidos, este trabalho busca ainda o reconhecimento de pontos relevantes que atendam às exigências relacionadas aos sistemas de gestão e tratamento de resíduos sólidos, como a identificação e caracterização da fonte de produção do resíduo, bem como a análise de suas propriedades físicas e químicas, especificando o processo e o tratamento do resíduo, com ênfase na valorização deste.

1.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a viabilidade técnica para o reaproveitamento do resíduo gerado no lavador de gases em processo produtivo de porcelanato esmaltado.

1.1.1 Objetivos específicos

Para que o objetivo geral fosse alcançado, foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- Levantar dados sobre a geração e reaproveitamento de resíduos em indústrias de revestimento cerâmico;
- Descrever o processo produtivo do porcelanato esmaltado;
- Descrever a geração de resíduos no processo de lavagem de gases;
- Quantificar o resíduo gerado no lavador de gases;
- Caracterizar o resíduo gerado no lavador de gases;

- Realizar ensaios com vista ao reaproveitamento do resíduo gerado no lavador de gases no processo produtivo;
- Encontrar uma porcentagem para a incorporação do resíduo gerado no lavador de gases no processo produtivo, sem que o mesmo interfira significativamente nas propriedades finais do produto;
- Analisar as propriedades do produto final produzido com a incorporação do resíduo, e comparar com o produto padrão para verificar a viabilidade técnica;
- Enquadrar o estudo realizado como oportunidade de melhoria no processo e Produção Mais Limpa;
- Incentivar novas práticas de reaproveitamento de resíduos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 HISTÓRIA DA CERÂMICA

Um dos acontecimentos de mais transcendente importância na história da humanidade foi à constatação de ser possível, através do fogo, alterar profundamente as características das argilas, demonstrando de forma inequívoca, a partir do período neolítico, a presença humana. Assim pode-se dizer que o homem começou a “escrever”, no barro, a sua própria história (FRASCO, 2000 In COSTA, 2000).

A cerâmica é o material artificial mais antigo produzido pelo homem, de grande resistência e seu nome deriva do grego "kéramos" ("terra queimada" ou "argila queimada"). Quando o homem saiu das cavernas e se tornou um agricultor, encontrou a argila como um material resistente, impermeável e de fácil fabricação para as vasilhas, que serviriam para armazenar água, alimentos colhidos e sementes. As peças de cerâmica mais antigas conhecidas por arqueólogos foram encontradas a cerca de 8.000 anos no Japão, na área ocupada pela cultura Jomon (ANFACER, 2012).

A história da cerâmica está ligada à persistência dos ceramistas na busca permanente de novas técnicas de conformação, de novas matérias-primas, cada vez mais selecionadas, de novas fontes energéticas que permitiam produzir materiais cerâmicos de qualidade superior à dos chamados barros, como a faiança, o grés e a porcelana. (FRASCO, 2000 In COSTA, 2000, p. 9).

A qualidade, variedade e utilização da cerâmica aumentam a cada dia (ANFACER, 2012). Conforme Frasco (2000 In COSTA, 2000), foram complexos e difíceis os caminhos percorridos pelo homem para melhorar a qualidade dos produtos cerâmicos e encontrar soluções para eliminar as deficiências que neles encontrava, principalmente no que diz respeito à porosidade e à resistência, que dependem da temperatura a que são submetidos. Tudo, porém, foi lento e difícil.

De acordo com a ANFACER (2012), foi no período Neolítico ou da PEDRA POLIDA, que compreendeu, aproximadamente, de 26.000 a.C. até por volta de 5.000 a.C. que a habilidade na manufatura de peças de cerâmica deixou o Japão e, se espalhou pela Europa e Ásia, não existindo, entretanto, um consenso sobre como isto ocorreu.

Com o aparecimento das máquinas na Revolução Industrial assistiu-se a uma considerável aceleração da evolução da cerâmica, onde até então era extremamente lento, entrando assim numa etapa histórica com a passagem da cerâmica artesanal para a cerâmica industrial (FRASCO, 2000 In COSTA, 2000). Fonseca (2000), também cita a Revolução Industrial como forte influência no desenvolvimento da tecnologia cerâmica, através da utilização generalizada do vapor de água, como fonte de potência, no século XIX, surgindo assim, a mecanização das operações de mistura, a filtro prensagem e a moagem em moinho de bolas descontínuo.

ANFACER (2012) afirma que a tradição ceramista não chegou ao Brasil com os portugueses ou com os escravos, como muitos acreditam. Quando Cabral aportou no território brasileiro, os índios aborígenes já haviam firmado a cultura do trabalho em barro. No entanto, quando os colonizadores portugueses instalaram as primeiras olarias, estruturaram e concentraram a mão de obra. De acordo com Bylaardt et al (s.d.), a cerâmica no Brasil tem seus primórdios na Ilha de Marajó.

Já o azulejo, no Brasil, teve início no século passado, revelando-se um excelente revestimento para nosso clima. Há controvérsias com relação à nacionalidade dos primeiros revestimentos cerâmicos chegados ao Brasil. A origem do nome "azulejo" provém dos árabes, sendo derivado do termo "azuleicha", que significa "pedra polida" (ANFACER, 2012).

A cerâmica, hoje, extrapola o dia a dia para auxiliar na área científica: na medicina, vem sendo utilizada na prótese de ossos e dentária; na pecuária australiana, reveste os chips, que injetados dentro do animal, possibilitam uma contagem mais precisa e segura; os dentistas, nas obturações; algumas empresas fabricam facas com lâminas de porcelana; é ainda o material utilizado quando existe a necessidade de um produto resistente a altas temperaturas, como é o caso do trem bala no Japão, onde a cerâmica é colocada nos trilhos. (ANFACER, 2012)

De acordo com a ANFACER (2012), o Brasil ocupa a segunda posição em produção e consumo de revestimentos cerâmicos, sendo um dos principais protagonistas no mercado mundial. Em 2011, foram produzidos 844,3 milhões de metros quadrados e é a região de Criciúma, em Santa Catarina, que tem reconhecimento como polo internacional, concentrando as maiores empresas brasileiras.

2.2 PROCESSO CERÂMICO

2.2.1 Matérias-Primas

As indústrias de cerâmica vermelha, cerâmica branca e de revestimentos, são grandes consumidores de matérias-primas minerais (MOTTA; ZANARDO; CABRAL JUNIOR, 2001).

Segundo Biffi (2002 apud BARCHINSKI, 2009), as matérias-primas utilizadas na preparação das massas da cerâmica de revestimento podem ser plásticas e não plásticas. Para Motta, Cabral Junior e Tanno (1998) e Motter (2000, apud LUZ; COELHO, 2005), As matérias-primas plásticas são essenciais na fase de conformação, enquanto que as não plásticas atuam mais na fase do processamento térmico, permitindo ao corpo cerâmico sua forma após a queima.

De acordo com Motta, Zanardo e Cabral Junior (2001), as matérias-primas plásticas são: argila comum, argila plástica e caulim. Já como não plásticas pode-se citar: feldspato, filito, talco, calcário, quartzo e outros.

As argilas comuns têm como principal característica a cor de queima avermelhada, devido ao alto conteúdo de óxido de ferro total presente, geralmente superior a 4%. Respondem pelo maior consumo, sendo especialmente utilizadas na cerâmica vermelha e de revestimento (TANNO; MOTTA, 2000).

Argilas plásticas são argilas sedimentares, constituídas essencialmente de caulinita, podendo conter quantidades variáveis de outros argilominerías (ilita e esmectitas), quartzo, feldspato e matéria orgânica. Apresentam alta plasticidade, cor branca de queima e outras propriedades reológicas que lhes conferem alto desempenho nos mais diversos processos cerâmicos (MOTTA et al, 1995 apud COELHO, 1996).

O caulim é uma matéria-prima de ocorrência natural comumente usada em virtude de sua cor de queima clara e estabilidade dimensional (GRIMSHAW, 1971 apud MELCHIADES; MACHADO; BOSCHI, 2002). De acordo com Luz, Coelho (2005), além de conferir certa cor branca à massa cerâmica, o caulim é um suporte fundamental de óxido de alumínio (Al_2O_3), o qual, durante a fase de vitrificação da peça, regula a reação de equilíbrio, e contribui para o aumento da resistência mecânica e redução da deformação pirolástica durante o processo de queima.

Usado como fluxante, o feldspato tem a função de formar uma fase vítrea no corpo cerâmico, promovendo uma vitrificação e transluzimento, além de contribuir como fonte de Dióxido de Silício (SiO_2) (LUZ; COELHO, 2005).

Filito é empregado como fundente, auxiliando na fusão da massa cerâmica. É uma rocha metamórfica de granulação fina constituída de caulinita, sericita e quartzo (LUZ; COELHO, 2005).

O talco é usado como isolante elétrico. Com o aquecimento, o talco se desidrata em temperaturas da ordem de 900 °C. A indústria cerâmica demanda um produto de talco com pelo menos 95% de talco em peso, abaixo de 40 μm , além de não escamado, para evitar a laminação durante o processo de queima da massa cerâmica (ANDRADE et al, 2005).

A adição de calcário é devido à ação dos carbonatos de cálcio (CaCO_3) que atuam como fundentes energéticos, estabilizam as dimensões da peça e aumentam a resistência do produto final (MARINO; BOSCHI, 1998).

O quartzo tem fundamentalmente a função de ajustar o coeficiente de expansão térmica, o qual aumenta proporcionalmente pela quantidade presente (OLIVEIRA, 2000).

2.2.2 Processo Produtivo

De acordo com Barchinski (2009), as principais etapas de produção do porcelanato são: recepção da matéria-prima, moagem, atomização, prensagem, secagem, preparação de esmalte e esmaltação, queima, esquadrejamento, escolha, controle da qualidade e expedição.

2.2.2.1 Recepção de Matéria-Prima

A matéria-prima, em geral, é transportada das jazidas para os pátios de estocagem das indústrias. Normalmente, passa por um desintegrador com o objetivo de desagregar os torrões maiores, facilitando o trabalho seguinte (OLIVEIRA, 1999).

2.2.2.2 Moagem

O processo de moagem na indústria cerâmica tem como objetivo reduzir o tamanho das partículas das matérias-primas, modificar a distribuição granulométrica, dispersar aglomerados e agregados e modificar o formato das partículas. Pode ser por via úmido ou a seco (BRISTOT, 1996).

A matéria prima é transportada por correias até o moinho, e a dosagem de cada matéria-prima é feita de acordo com formulação pré-estabelecida em laboratórios através de testes. Após a moagem, tem-se como produto a barbotina, que é estocada em tanques apropriados (PORTOBELLO, 2012).

“A garantia da homogeneidade da composição da massa depende do peso seco de cada matéria-prima envolvida, sendo necessário, portanto, o controle de umidade dos componentes [...]” (OLIVEIRA; MAGANHA, 2006, p. 31).

De acordo com Henrique (2003), caso a moagem seja excessiva, pode haver o comprometimento da etapa de prensagem, resultando em peças com baixa densidade aparente e resistência mecânica a seco, além da excessiva retração linear das placas durante a queima.

Para Silva (2001) e Henrique (2012), os principais parâmetros a serem controlados na moagem são: resíduo, densidade e viscosidade

2.2.2.3 Atomização

O processo de atomização consiste na transformação de uma suspensão aquosa de partículas sólidas (barbotina) em partículas com o conteúdo necessário de umidade para a próxima etapa, tendo uma eficiência de 92% a 98% de perda de umidade. Para tanto, a barbotina é dividida em pequenas gotículas pulverizadas, através do bombeamento para um sistema dispersor no interior de uma câmara aquecida (atomizador) com ar previamente aquecido (± 600 °C) pela fornalha. Esta ação provoca a evaporação rápida da água, dando origem ao pó atomizado (BRISTOT, 1996; RIBEIRO; VENTURA; LABRINCHA, 2001).

2.2.2.4 Prensagem

Consiste na conformação de massas granuladas com baixo teor de umidade por meio de uma prensa (OLIVEIRA; MAGANHA, 2006). No processo de

prensagem, realizam-se simultaneamente três operações: conformação da massa, compactação da massa e redução dos vazios (BRISTOT, 1996).

2.2.2.5 Secagem

As peças em geral, após a etapa de prensagem, ainda contêm grande quantidade de água proveniente da preparação da massa. Para evitar defeitos nas peças como trincas, bolhas etc., é necessário eliminar essa água de forma lenta e gradual (OLIVEIRA; MAGANHA, 2006).

A operação tem por objetivo a redução da umidade da peça cerâmica, de modo a diminuir o tempo da operação de queima. [...]. No processo de monoqueima, a secagem também tem a função de proporcionar um aumento da resistência do suporte cru, o que é necessário para que a peça possa resistir aos choques durante o seu manuseio até o forno (SAMPAIO et al, 2002, p. 6).

2.2.2.6 Preparação do Esmalte

A composição dos esmaltes é bastante variada, e sua formulação depende das características do corpo cerâmico, das características finais do esmalte e da temperatura de queima (OLIVEIRA; MAGANHA, 2006).

2.2.2.7 Esmaltação

Depois de seco, o produto recebe uma camada fina e contínua de esmalte, que após a queima adquire aspecto vítreo. Esta etapa contribui para o aspecto estético, higiênico e melhora algumas das propriedades físicas, principalmente de resistência mecânica e elétrica (OLIVEIRA; MAGANHA, 2006).

Para realizar o processo de esmaltção, deve-se seguir algumas etapas para garantir a qualidade do produto: pós-secagem, aplicação de água, aplicação de engobe, aplicação de esmalte e decoração serigráfica. Pode-se dizer que a qualidade final do produto reflete como foram os cuidados na linha de esmaltção (PORTOBELLO, 2012).

2.2.2.8 Queima

Após aplicação de esmaltes, o produto segue para o forno, onde acontece a queima da peça. Nos fornos, o produto adquire suas características finais, tais como alta resistência mecânica, alta resistência à abrasão e baixa absorção. É também nessa etapa que algumas cores determinadas são obtidas (PORTOBELLO, 2012).

Segundo Oliveira e Maganha (2006), o tratamento térmico pode variar entre 800°C e 1.700°C. Henrique (2012) menciona que a queima é a etapa mais importante e delicada de todo o processo de fabricação.

2.2.2.9 Esquadrejamento ou Retificação

Retificação é um processo de usinagem mecânica onde a remoção de cavaco do material é estabelecida pelo contato entre a peça e uma ferramenta abrasiva, que gira em alta rotação. A retificação é também um método versátil de remoção mecânica de material que confere à peça alta precisão geométrica e dimensional (ARAUJO, 2010).

2.2.2.10 Escolha

Nesta etapa, são identificados os defeitos nas peças, sendo os superficiais identificados visualmente pelo colaborador, enquanto os dimensionais são verificados por equipamentos eletrônicos apropriados (PORTOBELLO, 2012).

2.2.2.11 Controle de qualidade

O controle de qualidade tem a função de monitorar todas as fases de produção, onde são realizadas inspeções de amostras da produção para que se obtenha um controle estatístico da qualidade (PORTOBELLO, 2012).

2.2.2.12 Expedição

É o armazenamento e o embarque de produtos para mercado interno e externo, garantindo a qualidade do serviço e entrega ao cliente. (PORTOBELLO, 2012).

2.2.3 Características físico-químicas

Segundo Góis (2010), entre as características do porcelanato destaca-se a baixa absorção de água, decorrente da queima a alta temperatura, durante a qual o material sofre uma retração dimensional elevada. Em relação a outros materiais mais porosos, o porcelanato se destaca por maior resistência mecânica, maior resistência à abrasão, maior resistência ao gelo, isolamento a descargas elétricas estáticas, baixa expansão por hidratação e maior facilidade de assentamento.

A dureza, assim como todas as características mecânicas, aumenta com o aumento da compactação estrutural. O porcelanato apresenta os valores mais elevados de dureza superficial, não podendo ser inferior a 6 (seis) na escala de MOHS. Devido a sua extrema compactação estrutural, é possível obter resistência mecânica com valores médios maiores que 27 N/mm^2 , resistência à abrasão e baixa dilatação térmica, com coeficiente de dilatação não podendo ultrapassar a $9 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. Outra característica do porcelanato é sua resistência ao ataque químico por efeito do processo de queima, além de detalhes como cores uniformes e borda retificada, permitindo rejuntas mínimos e facilitando a limpeza (GÓIS, 2010).

2.2.4 Defeitos comuns de fabricação

De acordo com Melchiades et al (2001), quanto maior for a densidade aparente seca da peça, menor será a retração de queima. O volume da peça prensada é a soma do volume das partículas sólidas e dos poros entre as mesmas. Durante a etapa de queima, os poros se fecham e/ou são eliminados. Quando eliminados, resulta na diminuição do volume total da peça e depende da diferença entre o volume dos poros da peça seca e queimada.

“De modo geral, quanto menor for a absorção de água do produto final, mais importante é o controle da densidade aparente das peças prensadas para que se possa controlar as suas dimensões” (MELCHIADES et al, 2001, p. 30)

Segundo o mesmo autor, durante o aquecimento, na etapa de queima, inicia-se um processo de formação de fases líquidas no interior do produto. Na medida em que se aumenta a temperatura de queima, o volume de fases líquidas também aumenta, juntamente com a redução de viscosidade, facilitando assim, o preenchimento dos espaços vazios, diminuindo o volume e aumentando a retração

da peça. A retração depende fundamentalmente da densidade aparente da peça seca (dap. seca), da composição da massa e das condições de queima.

Para Biffi (2000), os principais defeitos na fabricação de peças cerâmicas podem se dividir em diversas intervenções nas várias fases do processo produtivo.

2.2.4.1 Defeitos provenientes das matérias-primas

Referente a matérias-primas, os defeitos mais frequentes podem ser divididos nas seguintes causas: excessiva retração a verde¹, baixa resistência mecânica a verde e a seco, excesso de quartzo livre, baixa resistência mecânica do queimado, excesso de substâncias orgânicas, presença de minerais naturais danosos e contaminação das matérias-primas ou da massa (BIFFI, 2000).

Segundo o mesmo autor, as causas da retração a verde, que facilmente conduzem a quebra, estão ligadas as notáveis frações granulométricas finas < 1 µm. Baixa resistência mecânica a verde e a seco geralmente é devido à distribuição granulométrica incorreta do atomizado, permitindo a presença de um elevado percentual de vazios e umidade não homogênea do pó a ser prensado, além da escassa resistência mecânica das matérias-primas. O excesso de quartzo livre pode gerar frequentes rupturas (fissurações) tanto no biscoito como nos produtos acabados. Este fenômeno liga-se as variações de volume que a peça sofre na passagem a 575 °C na transformação do quartzo α para β, seja no aquecimento ou no resfriamento. Ainda relata que a resistência mecânica do queimado se deve normalmente à cadeia de reações na queima, sendo influenciado pela estrutura da peça prensada, pela granulometria dos componentes da massa e pela temperatura de queima, que deve ser tal, que determine um desenvolvimento de fases fluídas, cuja viscosidade seja suficiente para permitir um parcial (ou total) preenchimento dos poros sem que intervenham deformações nas peças.

De acordo com Damiani et al (2001), o excesso de substâncias orgânicas gera um dos problemas mais comuns na indústria cerâmica, conhecido como coração negro. Esse defeito consiste na formação de uma região escura que se estende paralelamente à face da peça, geralmente desaparecendo nas extremidades, causando inchamento das peças, deformação piropástica, e

¹ Termo utilizado para a peça crua, antes da queima.

deterioração das características técnicas e estéticas. Segundo o mesmo autor, o coração negro se forma devido à carbonização da matéria orgânica que se transforma em coque (C), com conseqüente geração de monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono (CO₂). As elevadas capacidades redutoras do C e CO provocam a redução do ferro presente nas argilas. O ferro reduzido (Fe₃O₄ e FeO) apresenta coloração mais escura e é mais fundente do que no seu estado oxidado, dificultando a saída dos gases liberados pela reação:



Os sulfetos, tais como pirita (FeS₂) e calcopirita (CuFeS₂), são os minerais mais comuns que podem provocar defeitos, provocando por vezes a desqualificação do produto. Há também alguns defeitos, cuja presença não encontra outras explicações senão o aporte contaminante nas matérias-primas ou na massa durante a elaboração, como manchas com forte concentração de Ferro (Fe) e Manganês (Mn), indicando uma contaminação por partes metálicas (BIFFI, 2000).

2.2.4.2 Defeitos provenientes da preparação da massa

Para Biffi (2000), os defeitos que podem resultar no setor de preparação da massa são, geralmente, a escassa moagem, desuniformidade da moagem, excesso ou falta de umidade, granulometria excessivamente fina ou grossa e grumos de incrustações.

A escassa moagem resulta na variação de tamanho dos grânulos com partículas grossas na massa. Desuniformidade, excesso ou falta de umidade são anomalias que podem ocorrer na fase de granulação do pó, ocasionando principalmente a quebra das peças a verde. A granulometria excessivamente fina pode ser causa de maior retração de queima e tendência a formar coração negro, a excessivamente grossa diminui a resistência do verde e do secado. Ambas podem ser geradas no processo de atomização devido à regulagem dos bicos. Grumos de incrustações tornam-se visíveis somente após a queima, sendo a causa da exposição ou retração do esmalte sobre a peça cerâmica (BIFFI, 2000).

2.2.4.3 Defeitos provenientes da prensagem

De acordo com Biffi (2000), os defeitos na etapa de prensagem podem ser divididos em três categorias: homogeneidade, geométricos e defeitos variados que não se enquadram nas duas primeiras categorias.

Defeitos de homogeneidade podem ser: i) falta de prensagem, deixando partes vazias nas peças; ii) esfoliação, devido à incorporação de ar na placa cerâmica, e iii) auréola, criada pelo movimento do ar deslocado durante o fechamento do estampo. Os defeitos de geometria podem ser gerados pela composição da massa, método de preparação do pó, umidade do pó, granulometria do pó e densidade do material prensado. Outros defeitos que não se enquadram nessas duas categorias são principalmente devidos à sujeira dos estampos e lesões na retirada da peça (BIFFI, 2000).

2.2.4.4 Defeitos provenientes do processo de esmaltação e esmalte

Os defeitos mais significativos no processo de esmaltação e provenientes do esmalte são referentes ao excesso de água, maneiras inadequadas de preparação e aplicação (ex. excesso de esmalte, moagem excessiva, grânulos em relevo (ar retido)) (BIFFI, 2000).

2.2.4.5 Defeitos provenientes da queima

Ao forno cabe a tarefa de fornecer ao material um diagrama pré-fixado de temperatura/tempo com o objetivo de amenizar ou eliminar alguns defeitos originados nas etapas anteriores. Para que isso seja possível, é necessário tempo e temperatura ideais nas diversas fases da queima, como segue: i) pré-forno: etapa de aquecimento (até por volta de 500 °C), onde é possível corrigir o defeito de esfoliação gerado na prensagem; ii) pré-queima: temperaturas que flutuam dos 600 aos 900-1000°C, é a etapa de liberação dos gases, onde interfere diretamente no coração negro, é necessário dar tempo ao material para que se desgaseifique suficientemente antes da queima, onde ocorre o fechamento dos poros e o esmalte tende a vitrificar-se; iii) queima: é a fase onde ocorre a fusão das matérias-primas, essa etapa é responsável por variações de absorção e carga de ruptura, e iv)

resfriamento: ocorre na saída do forno, e, se não controlado, causa a ruptura das peças devido ao choque térmico (BIFFI, 2000).

2.2.4.6 Defeitos provenientes da escolha

Segundo Biffi (2000), por não ser propriamente uma verdadeira atividade produtiva, a escolha não produz “defeitos”, mas deixa uma situação indesejável no que diz respeito ao cometimento de “erros”, sendo a principal causa a falta de treinamento do funcionário. Os defeitos mais comuns são os defeitos de forma (planaridade e dimensionais) e estéticos (lascas, manchas, bolhas, etc.).

2.3 ALTERAÇÕES AMBIENTAIS DECORRENTES DO PROCESSO CERÂMICO

De acordo com a European Commission (2007), as indústrias de revestimento cerâmico, dependendo de seus processos específicos, podem causar emissões para o ar, água e terra (resíduos), além de afetarem o ambiente pelo ruído e cheiro desagradáveis. O tipo e a quantidade de poluição dependem de diferentes parâmetros, como as matérias-primas utilizadas, agentes auxiliares, combustíveis e métodos de produção.

No âmbito de efluentes líquidos, além de seu uso como parte integrante do processo, a água é utilizada nas operações de limpeza de pisos e lavagem de máquinas, equipamentos e demais instalações industriais, bem como em sistemas de controle de poluição por via úmida (OLIVEIRA; MAGANHA, 2006). A água integrante ao processo é subsequentemente evaporada para o ar durante as etapas de atomização, secagem e cozedura (EUROPEAN COMMISSION, 2007).

De acordo com Oliveira e Maganha (2006), as emissões gasosas relevantes na indústria cerâmica são:

- Dióxido de Enxofre (SO_2): relacionado ao teor de enxofre contido nas matérias-primas e nos combustíveis;
- Óxidos de Nitrogênio (NO_x): produzido principalmente pela “fixação” térmica do nitrogênio e do oxigênio a partir da combustão do ar. Esta reação é favorecida pelas altas temperaturas;
- Monóxido de Carbono (CO): a partir da combustão da matéria orgânica presente na matéria-prima, especialmente da dissociação térmica dos

carbonatos de cálcio e magnésio durante a queima, além do próprio combustível (principalmente no caso de óleos);

- Compostos Orgânicos Voláteis (COV's): resultado da combustão incompleta e da volatilização da matéria orgânica contida na argila, além dos produtos auxiliares para a secagem, adesivos, esmaltes e outros, os quais podem produzir COV's durante o processo de queima;
- Cloretos: a maioria das argilas contém traços naturais de cloro, que são liberados no processo de queima, principalmente na forma de ácido clorídrico (HCl);
- Fluoretos: devido à presença de flúor presente na argila, que pode ser liberado na forma de fluoretos durante o aquecimento;
- Metais (e seus compostos): seu teor na matéria-prima é muito baixo, advém principalmente dos pigmentos cerâmicos e esmaltes, sendo emitidos no processo de queima.

Conforme Alexandre (1996 apud BARCHINSKI, 2009), a utilização de coque verde de petróleo (CVP), usado como combustível na fornalha para a atomização da barbotina, é a principal fonte de emissões atmosféricas. O coque verde é constituído por Carbono Fixo (86%), Enxofre (8%), Material Volátil (2% a 15%), Hidrogênio (até 5%) e de Cinzas (0,1% a 1,8%), sendo um produto sólido obtido no pré-craqueamento de óleos residuais das unidades de conversão de resíduos de petróleo. Os principais poluentes gerados na queima do CVP são SO_x , CO_2 , CO, cloretos e fluoretos. Segundo o mesmo autor, outra fonte de contaminantes atmosféricos são os fornos de biscoitos que emitem SO_x , cloretos, fluoretos, NO_2 , B e NH_3 .

Segundo Barchinski (2009), devido à geração de emissões atmosféricas no processo de atomização da massa cerâmica, são utilizados sistemas de tratamento do tipo lavador de gases.

São vários os resíduos sólidos gerados na indústria cerâmica, sendo os principais provenientes do processo de preparação de massa, lavagem de moinhos, atomização, prensagem e esmaltação. A composição é dependente dos compostos químicos utilizados em cada processo. A cinza de carvão mineral gerada nas fornalhas também é um exemplo de resíduo sólido e é potencialmente poluidor, tanto devido ao pH da sua drenagem, quanto devido à solubilização dos elementos presentes na sua composição química. As emissões provenientes da queima do

carvão mineral também apresenta resíduos sólidos compostos por sílica (SiO_2), alumina (Al_2O_3), enxofre (SO_x) e carbono fixo (MACAGNAN, 2002; BERNADIN, 2006 apud BARCHINSKI, 2009).

As instalações de moagem, mistura e prensagem são as principais fontes de ruído e vibração. Além disso, as atividades que envolvem transporte, muitas vezes, são motivos de incômodo à comunidade e circunvizinhança (BLASCO, 2000).

Segundo Blasco (2000), a modernização das indústrias do ramo cerâmico permitiu reduzir significativamente as emissões de contaminantes, principalmente as emissões gasosas, devido ao processo de monoqueima e a utilização de gás natural substituindo o óleo combustível.

Conforme a European Commission (2007), devido às especificações do produto, parte das perdas de processo podem ser reaproveitadas na própria indústria. Os materiais que não podem ser reciclados internamente saem da indústria como resíduos e são fornecidos para a reciclagem externa ou disposição final.

2.4 PROCESSO DE LAVAÇÃO DE GASES E GERAÇÃO DE PLACAS DE RESÍDUO

De acordo com a Resolução CONAMA nº 237/97 (BRASIL, 1997), todo e qualquer processo produtivo com potencial poluidor deve ser licenciado por órgão ambiental específico. A indústria de revestimentos cerâmicos, com grande potencial poluidor do compartimento atmosférico, deve, então, utilizar sistemas de tratamento de emissões atmosféricas em seu processo para que possa operar.

Na indústria cerâmica, para minimizar as emissões de contaminantes atmosféricos provenientes do processo de atomização, tem-se utilizado equipamentos do tipo lavador de gases (BARCHINSKI, 2009).

Devido à simplicidade de lavagem e alta eficiência de coleta das partículas, a lavagem das partículas suspensas no ar utilizando água é um dos métodos mais antigos de controle de poluição do ar. Os lavadores podem controlar simultaneamente poluentes particulados e gasosos. A escolha do tipo de lavador depende de parâmetros como espaço (para instalação) e diâmetro de partículas a serem coletadas. Equipamentos como precipitadores eletrostáticos e filtros de manga são inteiramente satisfatórios para muitas atividades, porém os problemas

com corrosão e entupimentos são comuns. Desta forma, a solução dos problemas é voltada para os lavadores, sendo o lavador Venturi um dos mais eficientes (RICCO JUNIOR, 2007).

Os lavadores utilizam a ação de lavagem por impactação inercial para a remoção de particulados e de contaminantes gasosos. O material particulado e os gases gerados na emissão atmosférica são coletados pelo contato direto a um líquido lavador. Entre os vários tipos de lavador de gases estão o lavador de ar convencional (air washer), lavador tipo torre com enchimento (scrubber), ciclone úmido, ciclone úmido com ventilador, separador úmido tipo orifício, precipitador dinâmico tipo úmido e lavador de gases venturidro (CLEZAR et al, 1999; GAMA, 2008; MACINTYRE, 1990 apud BARCHINSKI, 2009).

O quadro 01 apresenta os principais contaminantes que podem ser removidos no processo de lavação de gases (MACINTYRE, 1990).

Quadro 01: Principais contaminantes removidos no processo de lavação de gases

<p>Ácido acético Acetona Alcoóis Amônia Aminas Nitrato de amônia Sulfato de amônia Soluções de anodização Soluções de galvanoplastia Vapores de benzeno</p>	<p>Bromina Dióxido de carbono Ácido crômico Cloro Cianetos Formaldeído Ácido bromídrico Ácido clorídrico Ácido cianídrico Ácido fluorídrico</p>	<p>Ácido bórico Ácido sulfídrico Óxido de nitrogênio Dióxido de nitrogênio Cloreto de sódio Ácido fosfórico Hidróxido de sódio Dióxido de enxofre Ácido sulfúrico Uréia</p>
---	---	---

Fonte: Macintyre, 1990, p. 316

No tratamento de gases por via úmida, os componentes ácidos (óxidos de enxofre, cloro e compostos inorgânicos de flúor) são removidos a partir do contato intenso com um líquido (geralmente água). Isto resulta em transferir os compostos do gás para a água. A remoção desses compostos depende da solubilidade do líquido em questão. Com a finalidade de aumentar a solubilidade, pode ser adicionado uma base tal como carbonato de cálcio (CaCO_3), hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2), carbonato de sódio (Na_2CO_3), hidróxido de sódio (NaOH) ou amoníaco (NH_3). Um possível problema desse sistema de tratamento é a corrosão (EUROPEAN COMMISSION, 2007).

2.4.1 Caracterização das Placas de Resíduo

De acordo com ensaios realizados por Barchinski (2009), o efluente oriundo da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) do lavador de gases da Cerâmica Elizabeth Sul, apresenta caracterização conforme quadro 02.

Quadro 02: Caracterização do efluente do lavador de gases não tratado e tratado em ETE.

Parâmetros	Efluente	
	Não tratado	Tratado
pH	7,25	10,65
Sulfeto (mg L^{-1})	0,2	0,2
Fluoretos (mg L^{-1})	3,3	1,0

Fonte: Barchinski, 2009, p. 31

As placas de resíduos sólidos gerados no processo de tratamento de efluente do lavador de gases possuem em sua constituição argila, sulfato de sódio, enxofre e metais pesados (ferro, alumínio, cobre, cromo, cádmio e zinco), e se mostram potencialmente tóxicas, sendo necessário dar um destino adequado às mesmas, de forma a minimizar os seus impactos sobre o meio ambiente (BARCHINSKI, 2009).

Barchinski (2009) realizou ensaios de inflamabilidade, reatividade, lixiviação e solubilização das placas de resíduos geradas pelo processo de tratamento do efluente oriundo do lavador de gases. O teste de inflamabilidade apresentou resultado negativo com valores de pH superiores a 2,0 e inferiores a 12,5. No ensaio de reatividade, constatou que as placas de resíduos não reagiram de forma violenta com a água, apresentando em sua constituição resultados de íons cianeto e sulfeto inferiores do estabelecido pela NBR 10004/2004, conforme quadro 03.

Quadro 03: Parâmetros de avaliação da reatividade das placas de resíduos sólidos e valores de referência da NBR 10004/2004

Parâmetro	Placas	Valor de Referência
Cianeto ($\text{mg CN}^0/\text{Kg}$)	<0,004	250
Sulfeto ($\text{mg s}^{-2}/\text{kg}$)	<0,10	500
Umidade	14,6	-

Fonte: Barchinski, 2009. p. 34

Segundo o mesmo autor, na análise do extrato lixiviado, todos os parâmetros apresentaram dentro dos valores preconizados pela 10004/2004 e as placas de resíduos são caracterizadas como não tóxicas (quadro 04).

Quadro 04: Parâmetros de avaliação da toxicidade das placas de resíduos sólidos e valores de referência previstos pela NBR 10004/2004

Parâmetros	Placas	Valor de Referência	Limite de Detecção
Arsênio (mg L ⁻¹)	<0,001	1,0	0,001
Bário (mg L ⁻¹)	0,898	70,0	0,008
Cádmio (mg L ⁻¹)	<0,0001	0,5	0,0001
Chumbo (mg L ⁻¹)	<0,001	1,0	0,001
Cromo (mg L ⁻¹)	0,065	5,0	0,001
Fluoreto (mg L ⁻¹)	0,18	150	0,05
Mercúrio (mg L ⁻¹)	<0,0005	0,1	0,0005
pH	4,11	-	0,01
Prata (mg L ⁻¹)	<0,0001	5,0	0,0001
Selênio (mg L ⁻¹)	<0,001	1,0	0,001

Fonte: Barchinski, 2009. p. 35

O teste de solubilização executado segundo a NBR 10006/2004 evidenciou que a concentração de alumínio, ferro, sódio e sulfato ultrapassaram o limite máximo permitido pela NBR 10004/2004, conforme quadro 05, classificando assim, as placas de resíduo como Resíduo Classe II A – Não Inerte. Não houve necessidade de realizar testes patogênicos uma vez que o processo industrial não requer esse tipo de análise em seu resíduo (BARCHINSKI, 2009).

Quadro 05: Parâmetros de solubilização das placas de resíduos sólidos com valores de referência previstos pela NBR 10004/2004

Parâmetros	Placas	Valor de Referência	Limite de Detecção
Alumínio (mg L ⁻¹)	2,28	0,2	0,001
Arsênio (mg L ⁻¹)	<0,001	0,01	0,001
Bário (mg L ⁻¹)	0,517	0,7	0,008
Cádmio (mg L ⁻¹)	<0,0001	0,005	0,0001
Chumbo (mg L ⁻¹)	<0,001	0,01	0,001
Cianeto (mg L ⁻¹)	<0,004	0,07	0,004
Cloreto (mg L ⁻¹)	126	250	0,50
Cobre (mg L ⁻¹)	0,048	2,0	0,001
Cromo (mg L ⁻¹)	0,045	0,05	0,001
Fenol (mg L ⁻¹)	<0,005	0,01	0,005
Ferro (mg L ⁻¹)	5,18	0,3	0,005
Fluoreto (mg L ⁻¹)	0,02	1,5	0,05
Manganês (mg L ⁻¹)	0,060	0,1	0,003

Continuação

Parâmetros	Placas	Valor de Referência	Limite de Detecção
Nitrato (mg L ⁻¹)	<0,20	10,0	0,20
pH final	9,23	-	0,01
Prata (mg L ⁻¹)	<0,0001	0,05	0,0001
Selênio (mg L ⁻¹)	<0,001	0,01	0,001
Sódio (mg L ⁻¹)	5680	200	0,005
Sulfato (mg L ⁻¹)	1366	250	2,0
Surfactantes (mg L ⁻¹)	<0,05	0,5	0,05
Zinco (mg L ⁻¹)	0,050	50	0,001

Fonte: Barchinski, 2009. p. 36

2.5 REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS NA INDÚSTRIA CERÂMICA

Os processos de fabricação de cerâmica de revestimento, através das ETE's, geram resíduos sólidos, conhecidos como "lodo cerâmico". O emprego deste resíduo na formulação de fritas e massas cerâmicas pode ser uma alternativa de redução de custos industriais e valorização do resíduo (NANDI et al, 2012).

Estações de tratamento que empregam os processos convencionais de coagulação, floculação e sedimentação, produzem grandes quantidades de lodo, podendo chegar a 2% do volume total de água tratada (QASIM et al, 2000 apud ALQAM; JAMRAH; DAGHLAS, 2011). O tratamento e a destinação do lodo pode ter um custo significativo, e à medida que aumenta este custo, as opções de uso têm sido propostas, porém estas opções devem ser economicamente viáveis e ambientalmente saudáveis (TOWNSEND et al, 2001 apud ALQAM; JAMRAH; DAGHLAS, 2011).

Dessa forma, um importante papel na economia de matérias-primas brutas e na diminuição da poluição ambiental, causada por estas indústrias, pode ser desempenhado pela reciclagem do lodo cerâmico. Isto pode ser alcançado por meio da substituição de uma ou mais matérias-primas da composição original por lodo cerâmico, respeitando-se as propriedades do produto e as características tecnológicas (CASAGRANDE et al 2008).

Segundo a European Commission (2007), mesmo se a reciclagem do resíduo não for adequada ao processo a partir do qual se originou, pode-se encontrar uma saída em um processo diferente, por exemplo, utilizar o lodo cerâmico na construção de asfaltos e estradas como agente de enchimento ou na indústria de cimento.

Com alta produtividade e características técnicas que possibilitam a incorporação de diferentes tipos de materiais em seu processo produtivo, a indústria cerâmica surge com grande potencial para o reaproveitamento de diversos resíduos que podem ser gerados tanto na própria indústria como em indústrias externas (JOAQUIM, 2009).

De acordo com Souza, Santos; Gon (2007), ao longo dos últimos anos, vários estudos e testes foram promovidos visando à reutilização de resíduos no processo produtivo, juntamente com o trabalho de redução desses resíduos. Como exemplo disso, na literatura encontram-se vários exemplos, tais como:

- Estudo da incorporação de cinza proveniente da queima de lenha de eucalipto na formulação de massa para indústria de cerâmica estrutural realizado por Pereira (2010), onde comprovou a viabilidade técnica da utilização, com manutenção das características necessárias para os fins a que se destinam;
- Adição de lodo em engobe industrial, com introdução de até 25% sem acarretar alterações significativas nas condições de processamento e nas características do produto final (VELHO, 2010);
- Joaquim (2009), estudou a aplicação de um dos subprodutos do rejeito da mineração de carvão, Óxido de Ferro (Hematita) formado na ustulação da pirita em processos da indústria cerâmica. A hematita não apresentou coloração adequada no processo cerâmico utilizado;
- Ferrari et al (2002) buscaram ações para a diminuição da geração de resíduos e reciclagem de lodo. Com a implantação de algumas medidas, observaram a diminuição da geração de lodo, e que dependendo do percentual de lodo adicionado, ocorre a melhoria de algumas propriedades da peça após a queima;
- Zappellini (2009) testou a utilização de lodo na produção de placas cerâmicas, onde constatou que a adição de 10 % de lodo pouco influenciou nas características finais do produto e observou uma redução de custos em cerca de 20%;
- Casagrande et al (2008) encontraram resultados que comprovaram ser perfeitamente viável a utilização de resíduos de quebra da escolha

como matéria-prima, sem provocar modificações significativas nas propriedades finais do produto queimado.

Fernandes; Oliveira; Hotza (2003) também citam vários exemplos de estudos que visam o reaproveitamento de resíduos gerados em diversas empresas nas indústrias cerâmicas e que obtiveram sucesso, tais como a incorporação de lodo da indústria têxtil, de resíduo da fabricação de papel, resíduos oriundos do beneficiamento de granitos, resíduos do corte de blocos de mármore, resíduos de mineradoras e metalúrgicas e ainda os gerados na própria indústria cerâmica.

Além do benefício gerado pela diminuição de custos devido à economia de matérias-primas e corte de gastos com disposição final, as empresas ainda podem usufruir de benefícios da União, Estados, Distrito Federal e municípios, que no âmbito de suas competências podem instituir normas com o objetivo de conceder incentivos fiscais e financeiros a indústrias e entidades dedicadas à reutilização, ao tratamento e à reciclagem de resíduos sólidos produzidos no território nacional, conforme descrito na lei nº 12.305, 2010 (BRASIL, 2010).

2.6 PRODUÇÃO LIMPA E PRODUÇÃO MAIS LIMPA

Produção Limpa (PL) e Produção Mais Limpa (P+L) são modelos de gestão para produção e consumo sustentáveis de bens e serviços. Os modelos foram propostos no final da década de 80, pela Greenpeace e PNUMA (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente), respectivamente. PL e P+L são opções de escolha para substituição do modelo clássico de controle da poluição (fim-de-tubo) (FURTADO, 2001).

Conforme Furtado (2001, p. 2), Produção Limpa é:

Aplicação sistemática de princípios que permitem satisfazer as necessidades da sociedade por produtos ambientalmente corretos, através do uso de sistemas de energia eficientes e renováveis e materiais que não ofereçam risco, nem ameacem a biodiversidade do planeta.

Nascimento (2008) cita que PL é uma proposta que representa o sistema de produção industrial levando em conta a sustentabilidade de fontes renováveis de matérias-primas, a redução do consumo de águas, a reutilização e reaproveitamento de materiais por reciclagem de maneira atóxica e energia eficiente, a geração de produtos de vida útil longa, segura e atóxicos, para o homem e o ambiente natural e a reciclagem.

O termo “Produção Mais Limpa” foi definido pelo programa ambiental das Nações Unidas, UNEP – United Nations Environment Programme (CALIA; GUERRINI, 2006).

A Produção Mais Limpa é a aplicação contínua de uma estratégia ambiental preventiva aos processos, produtos e serviços, a fim de aumentar a eficiência total e de reduzir riscos aos seres humanos e ao ambiente. A Produção Mais Limpa pode ser aplicada aos processos utilizados em qualquer setor econômico, nos próprios produtos e nos vários serviços oferecidos na sociedade (UNEP, 2006 apud CALIA; GUERRINI, 2006. p. 533).

De forma geral, P+L pode ser uma série de estratégias, práticas e condutas econômicas, que evitam ou reduzem, por meio de ações preventivas, as emissões de poluentes no meio ambiente (OLIVEIRA; MAGANHA, 2006). P+L tem uma abordagem preventiva de gerenciamento ambiental e visa produzir bens e serviços com o mínimo impacto ambiental dentro das limitações econômicas e tecnológicas do presente (UNEP, 2006 apud CALIA; GUERRINI, 2006).

Segundo o Greenpeace, o conceito de PL envolve os conceitos de processo, produto e reciclagem, atendendo à Legislação e, em muitos aspectos, indo além das exigências regulamentárias. Já o conceito de P+L, segundo o PNUMA, envolve apenas os conceitos de processo e produto (FURTADO, 2001).

Apesar de aparecer apenas uma sutil diferença, há uma diferença significativa entre os conceitos de PL e P+L em termos de resultados para a sustentabilidade empresarial. P+L implica em reduzir o impacto ambiental do processo produtivo que está sendo realizado, independentemente se tal processo é sustentável ou não, já a PL busca implantar um processo que realmente seja sustentável (PÔRTO, 2009).

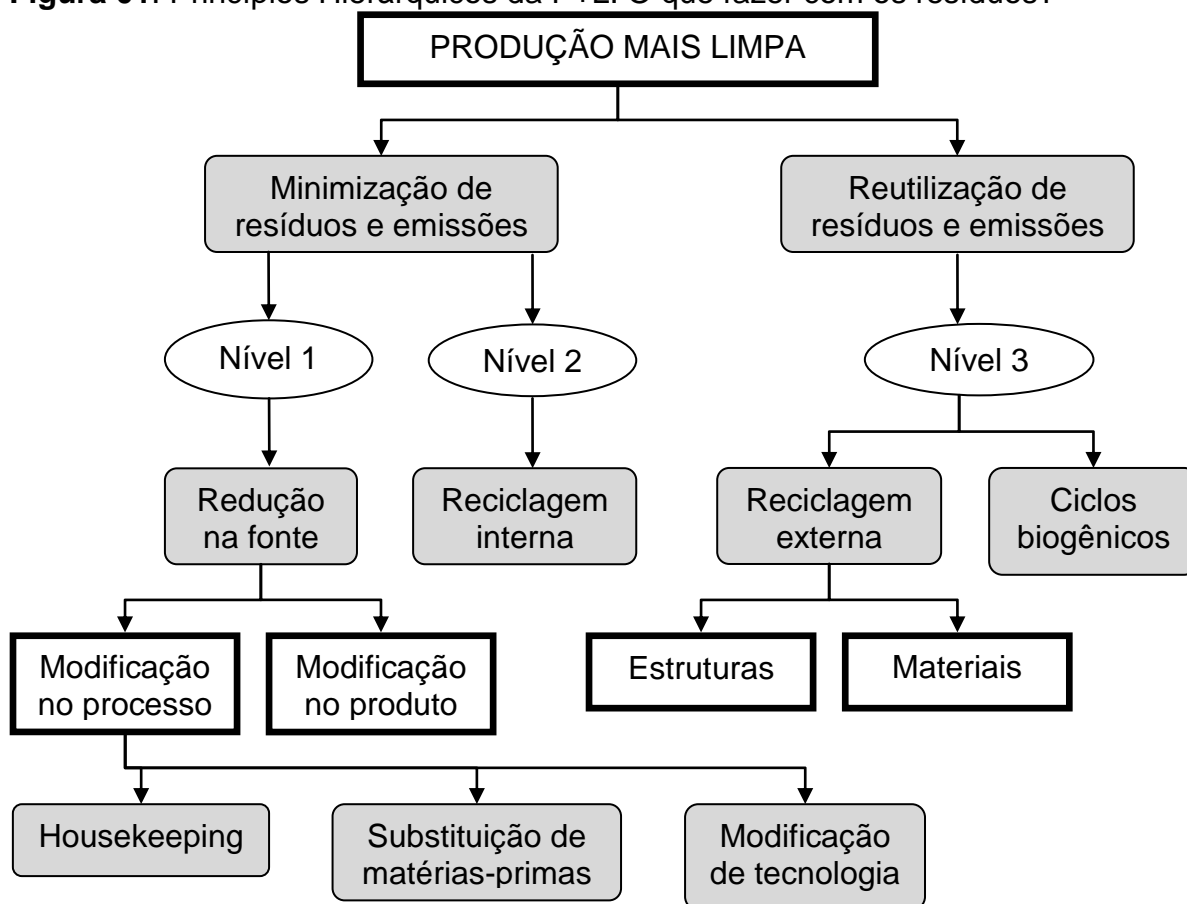
De acordo com Nascimento (2008), a PL propõe controle democrático dos sistemas de produção, reduzindo assim os riscos para a sociedade e o meio ambiente, bem como os enfoques precatórios e preventivos e abordagem holística. Já a P+L, objetiva aumentar a eficiência dos recursos e reduzir a toxicidade dos processos. O autor ainda cita que a PL é mais radical nas suas propostas do que a P+L, sendo assim, em um jogo de palavras, pode-se dizer que a “PL é mais limpa que a P+L”.

A partir do melhor entendimento da cadeia de geração de resíduos, houve uma evolução das políticas de controle da poluição dos métodos conhecidos como “fim-de-tubo” para as tendências baseadas no princípio de prevenção, modificando assim, a abordagem convencional de “O que fazer com os resíduos?” para “O que

fazer para não gerar resíduos?”. A Produção mais Limpa, fundamenta-se nesse último princípio, originando uma mudança de paradigma. Após a percepção de que o resíduo não era inerente ao processo, e de que era um indicativo de ineficiência, o resíduo, que antes era visto como um problema, passou a ser encarado como uma oportunidade de melhoria (SENAI.RS, 2003).

De acordo com Silva Filho et al (2007), a P+L é uma ferramenta que prima para a melhoria da conduta ambiental das organizações, proporcionando redução de custos de produção e aumento de eficiência e competitividade. Tem o objetivo de tornar o processo mais eficiente no emprego de seus insumos, gerando mais produtos e menos resíduos, sendo caracterizada por ações que são implementadas dentro da empresa e identificando as tecnologias limpas mais adequadas para cada processo de produção (PIZZOLATO, 2011).

Conforme a figura 01, o ordenamento de atuação da P+L pode ser dividido em três níveis. O nível 1 refere-se às medidas prioritárias a serem perseguidas, sendo medidas de modificação tanto no produto quanto no processo de produção. O nível 2 aborda a reciclagem interna, com a reintegração dos resíduos pela própria empresa, como matérias-primas. E o nível 3 é representado pela reciclagem externa, acontecendo com o reuso externo pela empresa (SILVA FILHO et al, 2007).

Figura 01: Princípios Hierárquicos da P+L: O que fazer com os resíduos?

Fonte: UNIDO, 2001 apud NASCIMENTO, 2008, p. 111 (modificado pelo autor).

Para Nascimento (2008), em ordem sequencial, da melhor solução para a pior solução, temos o seguinte: I) Não geração; II) Minimização; III) Reciclagem interna; IV) Reciclagem externa; e V) Disposição final.

A Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010), que institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos - PNRS, em seu artigo 9 cita que na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

A European Commission (2007) considerou os procedimentos de prevenção, minimização, reciclagem e reutilização de materiais e energia como as melhores técnicas disponíveis na indústria cerâmica para atingir um nível elevado de proteção ambiental.

A reciclagem tem em vista a transformação dos resíduos sólidos, envolvendo a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, buscando a transformação em insumos ou novos produtos. Já a reutilização é o processo de

aproveitamento dos resíduos sólidos sem sua transformação biológica, física ou físico-química (BRASIL, 2010).

Para Nascimento (2008), a P+L não significa maximizar o uso de reciclagem ou tecnologias de controle da contaminação conhecidas como fim-de-tubo. A P+L é saber aproveitar os equipamentos e as tecnologias existentes com o objetivo de gerar o mínimo impacto possível. Com uma melhor seleção e planejamento da tecnologia, a P+L possibilita a indústria manejar os seus problemas de processos, produtos e serviços, que também conduzirá a uma redução da necessidade por tecnologias de fim-de-tubo, podendo em alguns casos eliminar a necessidade dessas tecnologias.

“Tecnologias Fim-de-Tubo são as tecnologias utilizadas para o tratamento, minimização e inertização de resíduos, efluentes e emissões, tais como filtros de emissões atmosféricas e estações de tratamento de efluentes” (NASCIMENTO, 2002 apud NASCIMENTO, 2008. p. 112.)

Para Nascimento (2008), o foco da P+L é o potencial de ganhos diretos no processo de produção e de ganho indireto pela eliminação de custos associados com o tratamento e a disposição final de resíduos. A P+L geralmente oferece redução nos custos e melhora a eficiência das operações, facilitando com que as organizações alcancem suas metas econômicas. A perspectiva de garantir o desenvolvimento sustentável e enfrentar novos caminhos da competitividade industrial pode ser considerada uma fonte de oportunidades e não como um obstáculo. A ênfase da P+L está na visão sobre a produção e o ambiente e na mudança de atitude.

As ações para implementar a P+L devem estar sempre voltadas para três benefícios básicos: i) o benefício ambiental (eliminação ou redução de resíduos e emissões, atender às exigências da legislação ambiental, etc.); ii) o benefício de saúde e segurança ocupacional (eliminar ou reduzir substancialmente os riscos à saúde e segurança dos empregados) e; iii) o benefício econômico (reduzir os custos com compra de matéria-prima e insumos com a disposição final de resíduos e produtos, etc.) (CNTL, 2000 apud DOMINGUES; PAULINO, 2007).

“A implantação da P+L contribui para facilitar a obtenção de benefícios gerados a partir do aumento da eficiência dos processos e dos ganhos no consumo de matérias-primas, energia e na diminuição de resíduos e emissões” (DOMINGUES; PAULINO, 2007. p. 7).

As organizações acreditam que para a implementação de P+L necessitariam de novas tecnologias, quando, na realidade, poderia ser evitada aproximadamente 50% da poluição gerada em vários países somente com a melhoria em práticas de operação e mudanças simples em processos. Também já foi verificado que ocorre uma maior eficiência e menor custo de produção toda vez que uma legislação obriga as organizações a mudarem seus processos de produção e serviços (NASCIMENTO, 2008).

De acordo com Domingues; Paulino (2007) e Nascimento (2008), os maiores obstáculos para a implantação da P+L ocorrem em função da resistência à mudança, concepções errôneas (falta de informação sobre a técnica e a importância dada ao ambiente natural), inexistência de políticas públicas que deem suporte às atividades de produção mais limpa, barreiras econômicas (alocação incorreta dos custos ambientais e investimentos) e barreiras técnicas (novas tecnologias).

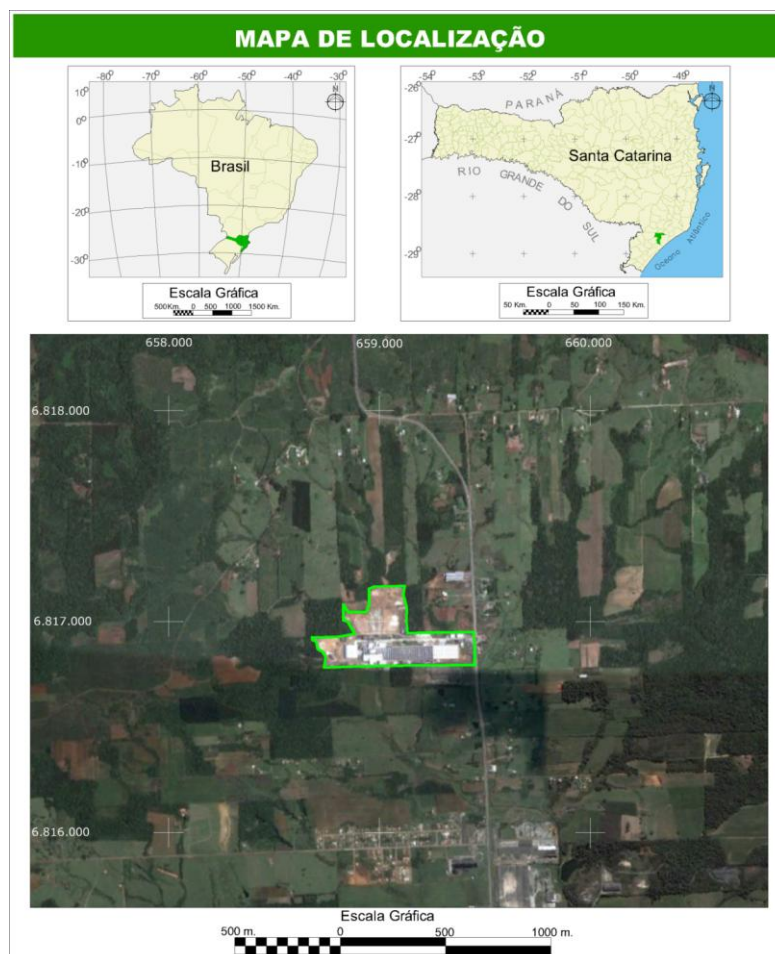
3. ESTUDO DE CASO

3.1 HISTÓRICO

A Cerâmica Elizabeth foi fundada em 1984 pelo empresário paraibano José Nilson Crispim. O grupo conta hoje com cinco unidades industriais, sendo quatro unidades em João Pessoa, na Paraíba (duas fábricas de revestimentos cerâmicos, uma de porcelanato e uma de cimento (em construção)), e uma na cidade de Criciúma, em Santa Catarina (porcelanato).

Em Criciúma, a Cerâmica Elizabeth, entrou em operação no mês de setembro de 2009, situada no Bairro Quarta Linha, às margens da Rodovia Luiz Rosso, Km 07 (figura 02). Possui um parque fabril com 37 mil m² de pavilhão onde foram instalados dois dos maiores fornos do mundo com 227 metros de comprimento.

Figura 02: Mapa de Localização da Empresa.



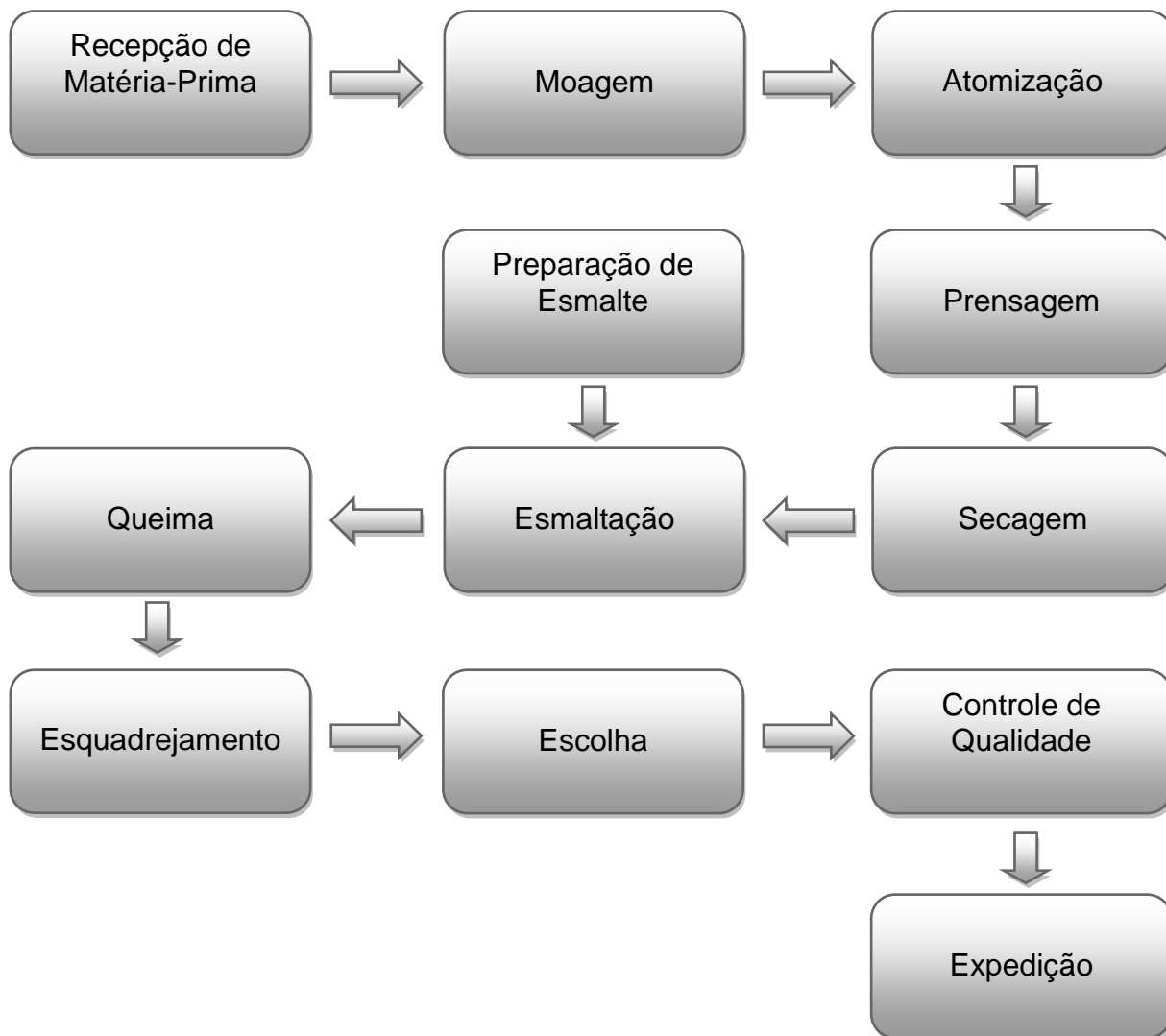
Fonte: IBGE, 2012; Google Earth, 2012. (modificado pelos autores).

Atualmente, a Cerâmica Elizabeth Sul conta com um quadro de aproximadamente 350 funcionários e capacidade de produção de 1.000.000 de m² de porcelanato polido, esmaltado e retificado por mês.

3.2 PROCESSO PRODUTIVO

O processo produtivo do porcelanato esmaltado na empresa em questão é descrito conforme figura 03:

Figura 03: Etapas do processo de produção de porcelanato esmaltado na Cerâmica Elizabeth Sul Ltda.



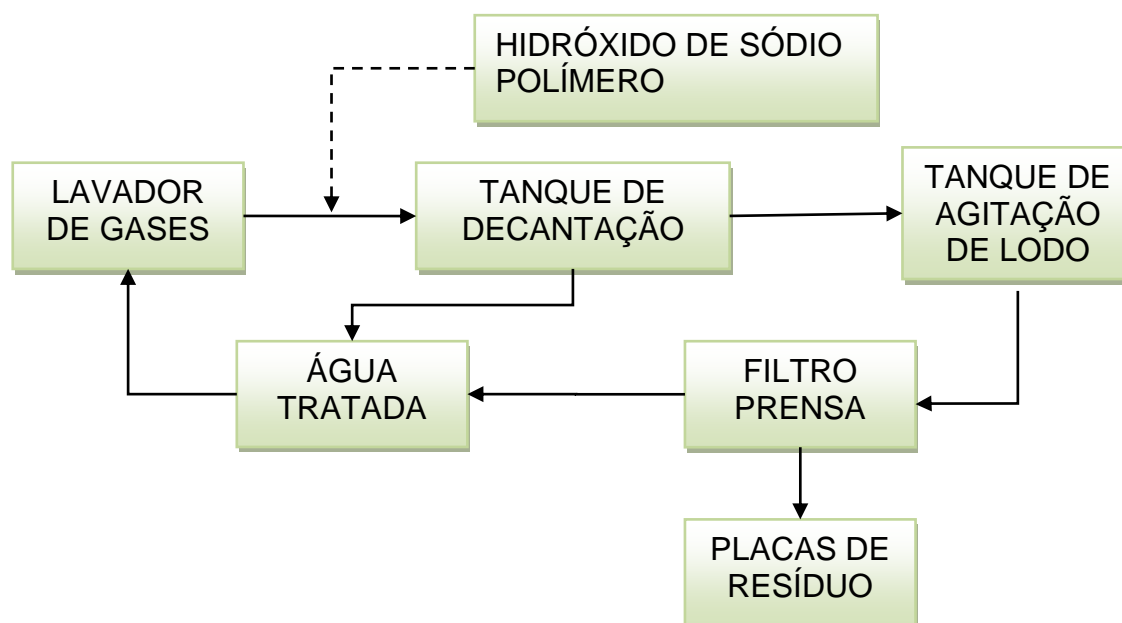
Fonte: do autor.

3.3 TRATAMENTO DE EFLUENTE GERADO NO LAVADOR DE GASES E GERAÇÃO DE RESÍDUOS.

A empresa Cerâmica Elizabeth Sul Ltda utiliza lavação de gases por via úmida (Jet Scrubber). Neste processo, os materiais particulados e gases são captados e encaminhados para o lavador de gases por um exaustor-ventilador. A adsorção do material particulado e neutralização dos gases ácidos ocorrem através do contato com um líquido lavador alcalino (BARCHINSKI, 2009).

Os efluentes gerados no processo são submetidos ao tratamento em ETE, onde ocorre a alcalinização com hidróxido de sódio (NaOH) para valores próximos a pH igual a 10 (dez) e dosagem de polímero para melhor floculação. Os flocos formados são encaminhados ao tanque de coagulação/floculação onde, após decantação, o lodo gerado é bombeado para o filtro prensa, dando origem às placas de resíduos do lavador de gases (RLG). Tanto a água descartada pelo filtro prensa quanto a sobrenadante do tanque de decantação são direcionadas ao tanque de água tratada, para posterior reutilização no processo de origem. Na figura 04, encontram-se as etapas do processo de tratamento de efluentes e geração de RLG.

Figura 04: Etapas do processo de tratamento de água e geração de placas de resíduo proveniente do lavador de gases.



O lavador de Gases é responsável pelo tratamento das emissões atmosféricas provenientes do atomizador. Essas emissões passam por um tratamento composto, formado por ciclones e lavador de gases, sendo o lavador de gases instalado imediatamente após os ciclones.

Conforme Lisboa; Schirmer (2007), os ciclones são de grande uso em controle da poluição do ar, principalmente como pré-coletores. Porém possuem baixa eficiência para partículas pequenas. Em geral, são utilizados para a coleta de material particulado com diâmetro maior que 5 μm .

4. METODOLOGIA

4.1 COLETA DE AMOSTRA E CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO RESÍDUO DO LAVADOR DE GASES (RLG) E DA MASSA PADRÃO (STD)

A amostra para análise foi coletada no tanque de agitação de lodo correspondente à produção de um dia e meio de lodo. Devido ao lodo estar armazenado em um tanque de agitação, não foi necessário fazer uma amostra composta, sendo coletada então, uma amostra aleatória simples. Os parâmetros a serem analisados foram determinados através de pesquisa bibliográfica, por orientações da professora orientadora, supervisor de campo e do supervisor de laboratório da Cerâmica Elizabeth Sul LTDA. Após coleta, as amostras foram encaminhadas a laboratórios externos. No quadro 06, encontram-se a relação de laboratórios e parâmetros do lodo analisados. A caracterização da massa padrão aconteceu através de pesquisa nos acervos da empresa, as análises encontradas seguem no quadro 07.

Quadro 06: Relação de laboratórios e parâmetros analisados.

SENAI	Óxido de Alumínio (Al_2O_3) Óxido de Cálcio (CaO) Óxido Férrico (Fe_2O_3) Óxido de Potássio (K_2O) Óxido de Magnésio (MgO) Óxido Manganoso (MnO) Óxido de Sódio (Na_2O) Pentóxido de Fósforo (P_2O_5) Dióxido de Silício (SiO_2) Dióxido de Titânio (TiO_2) Óxido de Bário (BaO) Óxido Cobáltico (Co_2O_3) Óxido Crômico (Cr_2O_3) Óxido Plumboso (PbO) Óxido de Estrôncio (SrO) Óxido de Zinco (ZnO) Óxido de Zircônio + Óxido de Háfênio ($ZrO_2 + HfO_2$) Perda ao Fogo (PF)
IPAT	Matéria Orgânica (MO) Cloretos Totais Sulfatos (SO_4) Sulfetos

Continuação

IPAT	pH Alumínio Total (Al) Cálcio Total (Ca) Ferro Total (Fe) Magnésio Total (Mg) Manganês (Mn) Umidade a 65°C
------	--

Quadro 07: Relação de análises da massa padrão.

Dióxido de Silício (SiO ₂) Dióxido de Titânio (TiO ₂) Óxido de Alumínio (Al ₂ O ₃) Óxido de Cálcio (CaO) Óxido de Magnésio (MgO)	Óxido de Potássio (K ₂ O) Óxido Férrico (Fe ₂ O ₃) Óxido de Sódio (Na ₂ O) Perda ao Fogo (PF)
---	---

Além dessas análises citadas, foram utilizadas as análises do resíduo do esquadrejamento e do CVP fornecidas pela empresa de estudo e que seguem em anexo.

4.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA MASSA DE PORCELANATO ESMALTADO PADRÃO E RESÍDUO

Esta etapa se deu através de análises físicas realizadas no laboratório da empresa em questão. As análises determinadas foram em relação à barbotina e aos corpos de prova.

Na barbotina foi analisado os parâmetros: densidade, resíduo e viscosidade.

A densidade foi medida em um picnômetro de 100mL com o auxílio de uma balança digital.

O teste de viscosidade ocorreu medindo-se o tempo de escoamento no copo Ford nº 4, de capacidade 100 mL, com auxílio de um cronômetro digital de precisão 0,1 segundo, e o valor obtido foi a média de 3 medições.

Para a análise de resíduo, mediu-se em um picnômetro a quantia de 50 mL de barbotina, que em seguida foi despejado em uma peneira de análise granulométrica de malha 200. A barbotina foi lavada com água limpa e o resíduo recolhido em uma proveta de precisão 0,1 mL até total decantação dos sólidos.

Os valores obtidos nas análises físicas dos corpos de prova, se deram através de cálculos, onde para isso foi necessário a obtenção dos valores de: peso

úmido (P_u), peso seco (P_s), peso queimado (P_q), empuxo seco (E_s), empuxo queimado (E_q), peso absorvido (P_a) e força de ruptura (F), de acordo com o quadro 08.

Quadro 08: Metodologia de obtenção de valores para análise física

Análise	Método
P_u , P_s , P_q e P_a	Balança digital de precisão 0,01g.
E_s e E_q	Imersão ao mercúrio
F	Deflectômetro digital de precisão 0,1 N

Através destes valores calculou-se os seguintes parâmetros:

- Umidade de prensagem (%):

$$\frac{P_s}{P_u} \times 100$$

Equação I

- Densidade Aparente Seca (D_{ap} . seca) (g/cm^3):

$$\frac{P_s \times 13,54}{E_s}$$

Equação II

- Densidade Aparente de Queima (D_{ap} . queima) (g/cm^3):

$$\frac{P_q \times 13,54}{E_q}$$

Equação III

- Retração de queima (%):

$$\frac{E_s/13,54 - E_q/13,54}{(E_s/13,54) \times 3} \times 100$$

Equação IV

- Perda ao Fogo (%):

$$\frac{P_s - P_q}{P_s} \times 100$$

Equação V

- Absorção de água (%):

$$\frac{P_a - P_q}{P_q} \times 100$$

Equação VI

Para a obtenção do P_a , as peças foram mergulhadas em água a temperatura de 100 °C por 2 horas, em seguida mergulhadas por 30 minutos em água a

temperatura ambiente para resfriamento, secas com pano úmido e pesadas em balança digital.

- Carga de Ruptura (CR) (N)

$$\frac{F \times L}{b}$$

Equação VII

Onde:

L é a distância entre as barras de apoio do deflectômetro (mm)
(utilizado 80 mm)

B é a largura do corpo de prova ao longo da ruptura após ensaio (mm)

4.3 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Esta etapa foi desenvolvida com o auxílio do laboratório de massas da empresa em estudo, seguindo os seguintes passos:

- I. Formulação da barbotina em moinhos de jarro, com 40 % de sólidos e 60% de água;
- II. Secagem da barbotina na estufa a aproximadamente 200°C;
- III. Moagem da massa seca em moinhos de jarro para quebrar os torrões e adição de 7% de umidade;
- IV. Prensagem dos corpos de prova a pressão de 400 kg/cm²;
- V. Secagem dos corpos de prova na estufa a aproximadamente 200°C;
- VI. Queima em forno laboratorial em gradiente de temperatura (1050 até 1150 °C) ou forno industrial a 1200°C.

4.3.1 Coração negro e carga de ruptura

Para a análise do coração negro desenvolveu-se uma peça de 100g para cada formulação seguindo os passos acima citados, porém antes da queima, a peça foi submetida à etapa de esmaltação, onde se seguiu os passos da aplicação de água, aplicação de engobe e aplicação de esmalte. Esta etapa foi realizada na linha de produção da empresa em estudo.

A análise de coração negro aconteceu de forma visual, comparando a peça padrão com as demais formulações.

Para o teste de carga de ruptura, em primeiro momento, na comparação entre o RLG e a massa STD, confeccionou-se três peças, sendo duas para carga de ruptura a seco e uma a queimado. De segundo momento, nas diluições, foram confeccionadas quatro peças, sendo duas para cada análise, a seco e de queima. Para esse parâmetro foram confeccionadas peças de 60g cada e queimadas em forno industrial a temperatura de 1200 °C. Foi usado como resultado a média da carga de ruptura obtida em cada formulação.

4.4 FORMULAÇÕES

Primeiramente realizou-se uma comparação entre a massa padrão e a massa formulada com 100% de lodo. A massa padrão foi coletada de maneira aleatória na forma de barbotina na saída do moinho. O gradiente de temperatura nessa etapa foi de 1050 °C até 1120 °C.

Após realizar as comparações entre a massa padrão e a massa formulada com 100% de lodo, definiu-se as diluições a serem feitas de resíduo na massa padrão, sendo nas seguintes proporções: 1, 5, 10 e 20%. Para melhor comparação das diluições com a massa padrão, nessa etapa também foi realizada a confecção de corpos de prova padrão e queima em gradiente de temperatura de 1100 °C até 1150 °C.

Para melhor identificação dos corpos de prova, foi designada para cada diluição uma identificação alfabética sendo:

- STD = 0%
- A = 1%
- B = 5%
- C = 10%
- D = 20%

As diluições foram feitas com o material seco, sendo a massa padrão coletada na forma de pó na saída do atomizador, em amostragem simples, e o lodo coletado no box de resíduo da ETE em quatro amostras simples em dias diferentes

formando uma amostra composta. As amostras foram secadas na estufa para ficarem completamente secas.

Para cada formulação foram confeccionados corpos de prova nos tamanhos de 8X2 cm e 10X5 cm. O quadro 09 a seguir, segue a relação de análises realizadas de cada tamanho e respectivas temperatura de queima.

Quadro 09: Relação de temperatura de queima e análises obtidas de cada tamanho

8X2 cm (20g)	Queima em gradiente de temperatura em forno laboratorial	Umidade de prensagem Dap. seca Dap. queima Retração de queima Perda ao fogo Absorção de água
10X5 cm (60g)	Queima em forno industrial a 1200 °C	Resistência
10x5 cm (100g)		Coração negro

4.5 QUANTIFICAÇÃO DE LODO ADENSADO GERADO

Esta etapa foi realizada paralelamente a etapa de análises em dias e períodos diferentes. Para sua realização, foi medida a variação de volume no tanque de lodo em um determinado período de tempo e coletado amostra de lodo adensado para análise de umidade e densidade, no laboratório da empresa.

Calculou-se o volume diário de lodo gerado através da equação VIII

$$v = \frac{a \times h \times td}{t} \quad \text{Equação VIII}$$

Onde:

v: volume diário (m³/dia)

a: área do tanque (11,025 m²);

h: variação da altura do tanque (m);

td: tempo de um dia (1440 min/dia);

t: tempo de análise (min).

A massa total de lodo gerada em um dia foi calculada com a equação IX

$$m = v \times d \quad \text{Equação IX}$$

Onde:

m: massa diária (t/dia)

d: densidade (t/m³)

Com a equação IX, e porcentagens de água e sólidos obtidos pela umidade, foi possível calcular a massa de água e sólidos gerados em um dia de trabalho, conforme a equação X.

$$m_{a/s} = m \times c$$

Equação X

Onde:

$m_{a/s}$: massa de água ou sólidos (t/dia)

c: concentração (%)

4.6 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Contou-se com o conhecimento técnico de todos os envolvidos no trabalho e o embasamento teórico, para a comparação dos resultados obtidos com a introdução do resíduo do lavador de gases com os resultados obtidos da massa padrão.

5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISES DOS DADOS

5.1 ANÁLISES QUÍMICAS

Os resultados obtidos na análise química do resíduo do lavador de gases no Laboratório SENAI segue conforme tabela 01.

Tabela 01: Análise química do resíduo do lavador de gases no laboratório SENAI

Elementos	Teor (%)	Elementos	Teor (%)
Al ₂ O ₃	16,35	TiO ₂	0,35
CaO	0,86	BaO	<0,1
Fe ₂ O ₃	1,90	Co ₂ O ₃	<0,1
K ₂ O	1,99	Cr ₂ O ₃	<0,1
MgO	1,69	PbO	<0,1
MnO	<0,05	SrO	<0,1
Na ₂ O	10,76	ZnO	<0,1
P ₂ O ₅	0,06	ZrO ₂ +HfO ₂	0,09
SiO ₂	50,45	Perda Fogo	12,96

Na tabela 02, segue análise química da massa padrão levantada nos acervos da empresa.

Tabela 02: Análise química da massa padrão

Elementos	Teor (%)	Elementos	Teor (%)
SiO ₂	71,63	MgO	2,29
Al ₂ O ₃	17,62	K ₂ O	2,29
TiO ₂	0,41	Na ₂ O	2,21
Fe ₂ O ₃	2,32	Perda ao Fogo	4,88
CaO	1,23		

Comparando a análise de resíduo com a análise da massa padrão, podem-se chegar as seguintes conclusões sobre os parâmetros:

- Al₂O₃: possui um teor relativamente alto em ambas as análises (16,35 e 17,62%). De acordo com Luz, Coelho (2005), é encontrado no caulim e durante a fase de vitrificação da peça, regula a reação de equilíbrio, e contribui para o aumento da resistência mecânica e redução da deformação piroplastica durante o processo de queima;
- CaO: percebe-se uma pequena diferença (0,86% no resíduo e 1,23% na massa padrão). Segundo Marino; Boschi (1998), atuam como

fundentes energéticos, estabilizam as dimensões da peça e aumentam a resistência do produto final;

- Fe_2O_3 : Confere ao produto cor de queima avermelhada, esta presente nas argilas comuns em quantidade geralmente superior a 4% (TANNO; MOTTA, 2000). Sendo assim não deve interferir no processo por possuir um teor abaixo da massa padrão (1,90% RLG e 2,32 STD).
- Na_2O : Possui alta diferença entre as análises, (10,76% e 2,21%). Está associado ao tratamento químico realizado no efluente, onde é adicionado Hidróxido de Sódio (NaOH) para alcalinização. De acordo com Moreno et al (2002), esse parâmetro interfere na reologia da barbotina, devido ao efeito redutor de viscosidade.
- SiO_2 : É o elemento de teor mais elevado nas análises (50,45% no RLG e 71,63% na massa STD). É encontrado principalmente no feldspato (LUZ; COELHO, 2005), matéria-prima do produto.
- K_2O , MgO , TiO_2 : Teor parecido em ambas as análises, e devido à baixa concentração não interferem na qualidade do produto.
- MnO , BaO , Co_2O_3 , Cr_2O_3 , PbO , SrO , ZnO , $\text{ZrO}_2 + \text{HfO}_2$: Não foi possível fazer a comparação com a massa padrão devido à falta de análises, porém é possível a comparação com o resíduo do esquadrejamento (anexo 4), onde os teores são parecidos, e assim, não devem interferir no processo de produção.
- PF: Fornece informações sobre a quantidade de água de constituição e/ou matéria orgânica existente na massa (FIGUEIREDO, 2008). Nas análises percebe-se que a PF no resíduo do lavador de gases está consideravelmente acima do teor encontrado na massa padrão (12,96 e 4,88%). Essa diferença deve-se principalmente a quantidade de matéria orgânica presente no RLG.

Na análise química do RLG realizada pelo IPAT, os valores foram expressos em base úmida a 88,05% de umidade (laudo em anexo). Para melhor comparação os valores foram transformados para base seca, conforme segue na tabela 03.

Tabela 03: Análise química do resíduo do lavador de gases realizada pelo IPAT

Parâmetros	Resultados	Base Seca
Matéria Orgânica (MO) (% m/m)	0,80	6,69
Cloretos Totais (% m/m)	0,32	2,68
Sulfatos (SO ₄) (% m/m)	5,94	49,71
Sulfetos (% m/m)	ND	-
pH	8,0	-
Alumínio Total (Al) (% m/m)	1,80	15,06
Cálcio Total (Ca) (% m/m)	0,19	1,59
Ferro Total (Fe) (% m/m)	0,61	5,10
Magnésio Total (Mg) (% m/m)	0,60	5,02
Manganês Total (Mn) (% m/m)	0,02	0,17
Umidade a 65 °C (% m/m)	88,05	-

Analisando os parâmetros presentes na amostra destaca-se que:

- **Matéria Orgânica:** é encontrada em pequenas concentrações nas argilas (MOTTA et al, 1995 apud COELHO, 1996). De acordo com Damiani et al (2001), o excesso de substâncias orgânicas gera um dos problemas mais comuns na indústria cerâmica, conhecido como coração negro. A matéria orgânica presente na análise é proveniente principalmente do resíduo do CVP usado na fornalha, e do polímero adicionado para o tratamento do efluente;
- **Cloretos Totais:** é um dos principais contaminantes gerados na queima do CVP (ALEXANDRE, 1996 apud BARCHINSKI, 2009), e de acordo com Oliveira; Maganha (2006) a maioria das argilas contem traços naturais de cloro;
- **Sulfatos:** De acordo com Silva (2006), podem ser encontrados na forma de sulfetos nas argilas, e quando oxidados formam sulfatos, podem ser toleradas uma ampla variação no teor destes, porém os mesmos têm ação de resistência à defloculação, diminuindo assim o tempo de escoamento da barbotina. Os sulfatos também são um dos principais contaminantes gerado na queima do CVP e removido no lavador de gases. Conforme a análise química, o CVP possui 0,78% de enxofre.
- **Alumínio Total e Cálcio Total:** presentes nas matérias-primas principalmente na forma de óxidos (Al₂O₃ e CaO).

- Ferro Total: Além do teor encontrado na matéria-prima, o ferro pode ser resultante de corrosões no sistema, visto que o tratamento é feito com Hidróxido de Sódio (EUROPEAN COMMISSION, 2007). De acordo com Biffi (2000), o ferro reduzido (Fe_3O_4 e FeO) apresenta coloração mais escura e é mais fundente do que no seu estado oxidado, dificultando a saída dos gases liberados durante a queima e por consequência formação do coração negro.
- Magnésio Total e Manganês Total: No levantamento teórico não foi encontrado formas de influências no produto.

5.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

5.2.1 Barbotina

Os resultados obtidos das análises sobre a barbotina, na comparação da massa STD e RLG, seguem conforme tabela 04.

Tabela 04: Análise da barbotina na comparação de STD e RLG

Parâmetros	STD	RLG
Densidade (g/cm^3)	1,6	1,33
Resíduo (mL/50mL) #200	1,2	0 (Zero)
Viscosidade (s)	36	21 (Empapou ²)

Legenda: STD = Standart (Padrão)

RLG = Resíduo do Lavador de Gases

O fato da barbotina do RLG ter empapado pode ser em razão da alta concentração de sulfatos (49,71%) no resíduo, que devido à ação de resistência à defloculação, diminui o tempo de escoamento (Silva, 2006), apesar do mesmo possuir um teor elevado de Na_2O (10,76%), onde conforme Moreno et al (2002), possui efeito redutor de viscosidade. De acordo com Silva (2001), na moagem por via úmida, busca-se sempre a possibilidade de preparar uma barbotina com a densidade mais elevada possível, tendo como objetivo uma maior quantidade de sólidos. No entanto, o aumento da densidade, também gera um aumento na viscosidade, ocasionando maior esforço para bombeamento, redução de produtividade, problemas na pulverização, entre outros.

² Termo utilizado para a amostra que não teve escoamento completo

Devido ao sistema integrado de controle de poluição atmosférica da empresa em estudo, onde acoplado ao lavador de gases encontra-se um sistema de ciclones, que possui alta eficiência para partículas maiores que 5 μm , o resíduo na peneira de análise granulométrica de malha 200 (abertura entre malhas de 75 μm) é zero. Desde que não seja gerada perda de qualidade, é interessante trabalhar com os valores de resíduo o mais alto possível, pois assim, o tempo de moagem é menor, levando a uma economia no consumo de energia, na reposição de elementos moedores e um ganho de produtividade (SILVA, 2001).

A influência do RLG na reologia da barbotina STD pode ser percebida nas diluições, conforme mostra a tabela 05.

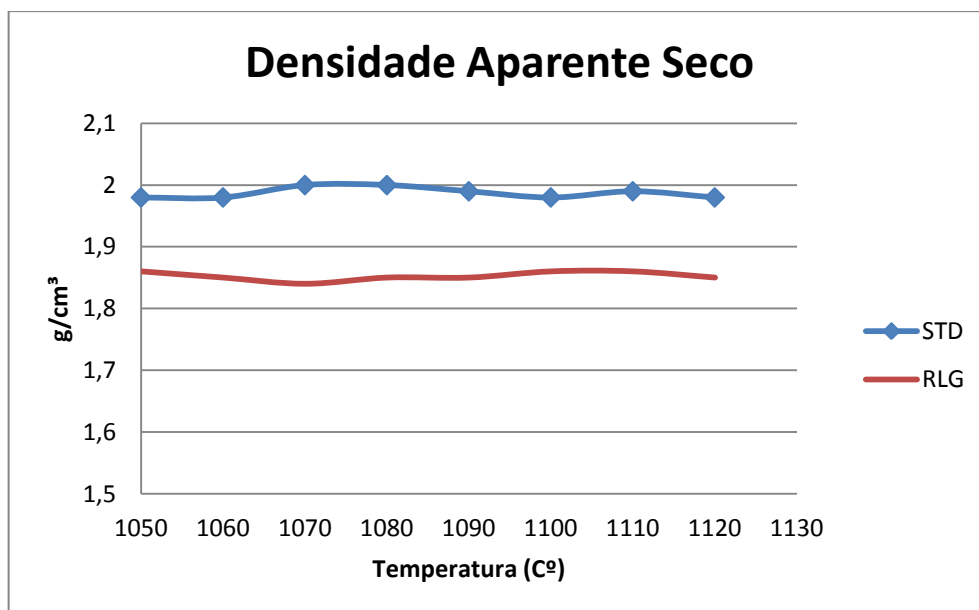
Tabela 05: Influência do RLG na reologia da barbotina STD

Parâmetro	STD	1%	5%	10%	20%
Densidade (g/cm³)	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34
Viscosidade (s)	12,0	12,0	12,4	13,3	13,5
Resíduo (mL/50mL) #200	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9

Conforme dados, verifica-se que a principal influência do RLG é em relação à viscosidade, onde de acordo com o aumento das diluições a barbotina foi aumentando o tempo de escoamento. A densidade e o resíduo permaneceram estáveis, para essas diluições.

5.2.2 Corpos de Prova

Devido à grande quantidade de finos (resíduo zero), permitindo maior quantidade de espaços vazios no interior da peça, a densidade aparente seca do RLG é menor que a densidade aparente seca STD, conforme demonstra a figura 05.

Figura 05: Densidade Aparente Seco.

Após a queima, a densidade aparente de queima (dap. queima) do RLG passa a ser maior que a dap. queima STD (figura 06). Segundo Biffi (2000), a queima deve determinar um desenvolvimento de fases fluídas, cuja viscosidade seja suficiente para permitir um parcial (ou total) preenchimento dos poros, e essa eliminação dos espaços vazios faz com que aumente a densidade do produto. A eliminação dos espaços vazios também influencia na retração de queima, como se pode observar na figura 07.

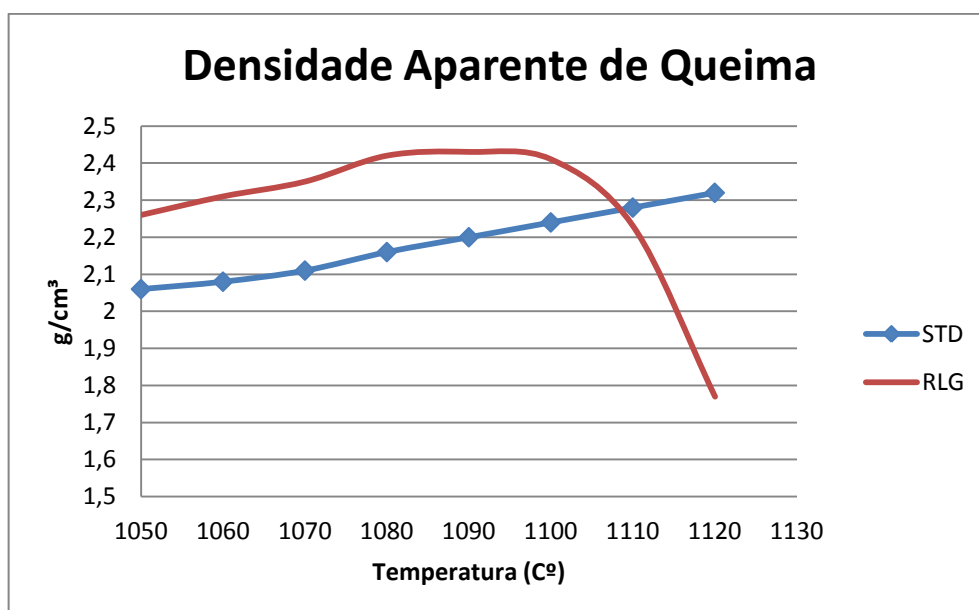
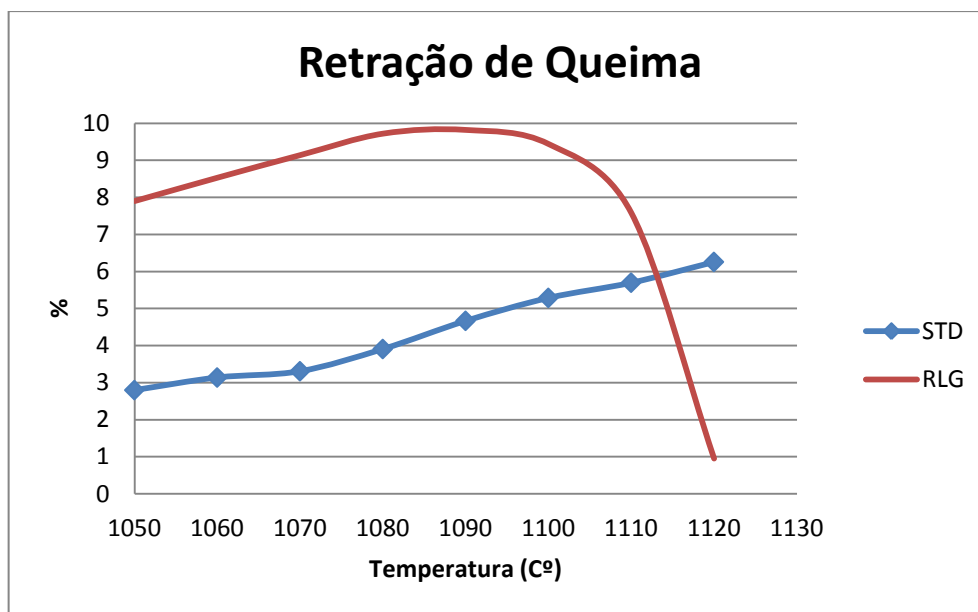
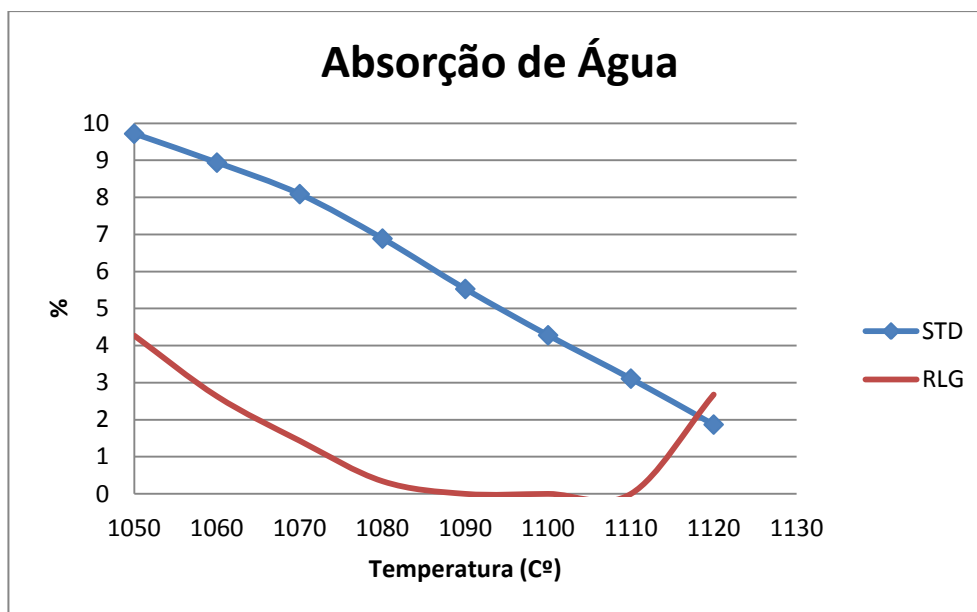
Figura 06: Densidade Aparente de Queima.

Figura 07: Retração de Queima.

Observa-se que devido a ambos os parâmetros (dap. queima e retração de queima) estarem relacionadas com a quantidade de espaços vazios, as curvas entre os dois gráficos são iguais, e que a partir do momento em que a peça sofre deformação, a densidade e a retração diminuem. De acordo com Melchiades et al (2001), quanto maior for a densidade aparente seca da peça, menor será a retração de queima.

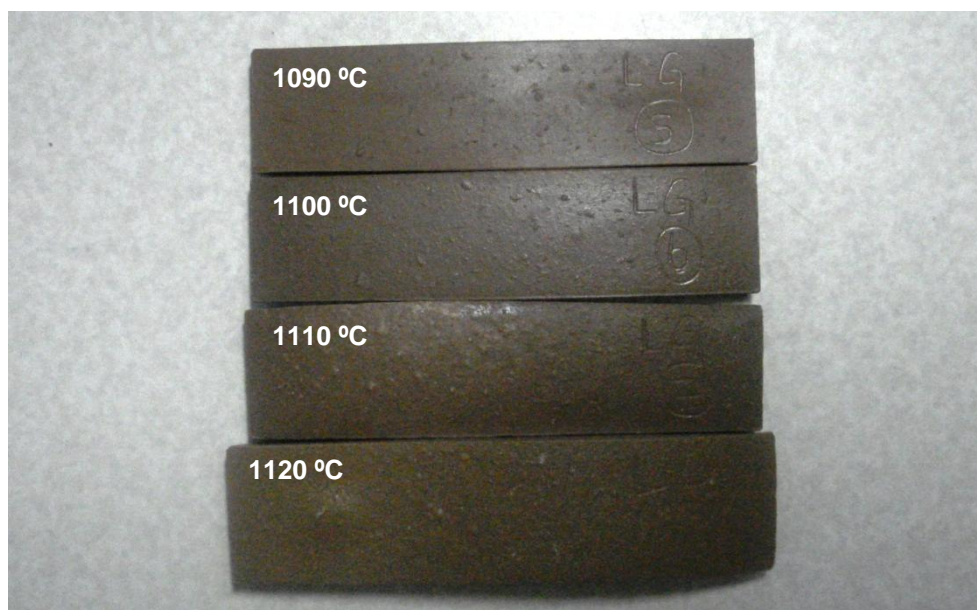
Quando a peça é elevada a temperaturas acima do ponto de fusão, começa acontecer à dilatação, abrindo novamente os poros e permitindo assim a absorção de água (figura 08). Conforme Biffi (2000), a queima é a fase onde ocorre a fusão das matérias-primas, sendo responsável por variações de absorção. Quando a absorção é igual a zero, significa que a peça fundiu completamente, eliminando todos os espaços vazios.

Figura 08: Absorção de Água.



Observa-se que na temperatura de 1090 °C, as peças de RLG atingem o ponto zero, o que significa que a peça fundiu completamente. A partir deste ponto a peça começa a sofrer deformações, conforme pode ser observado na figura 09.

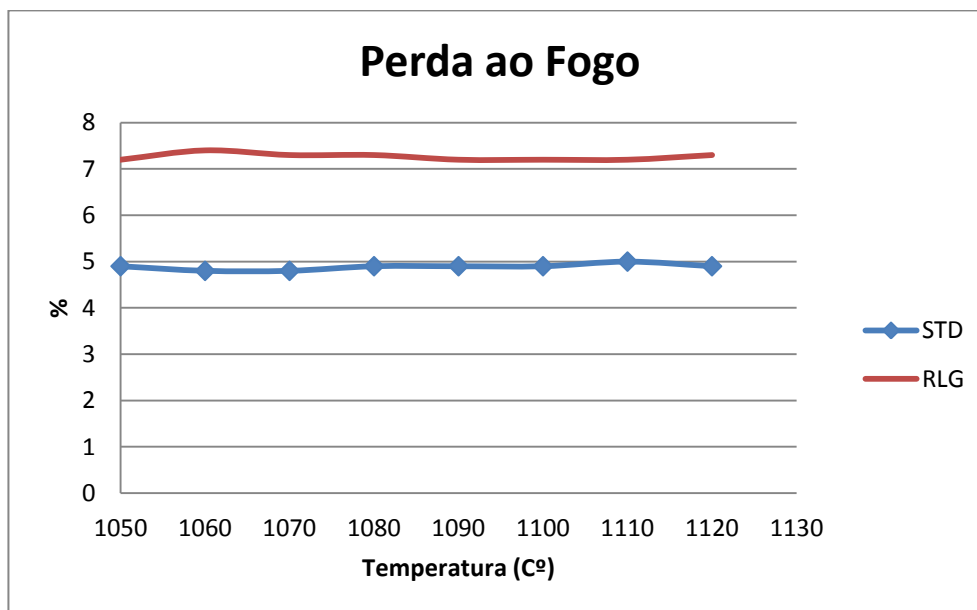
Figura 09: Deformações nas peças de RLG a partir da temperatura de 1090 °C



Nota-se que quanto maior o aumento na temperatura, maior a deformação na peça.

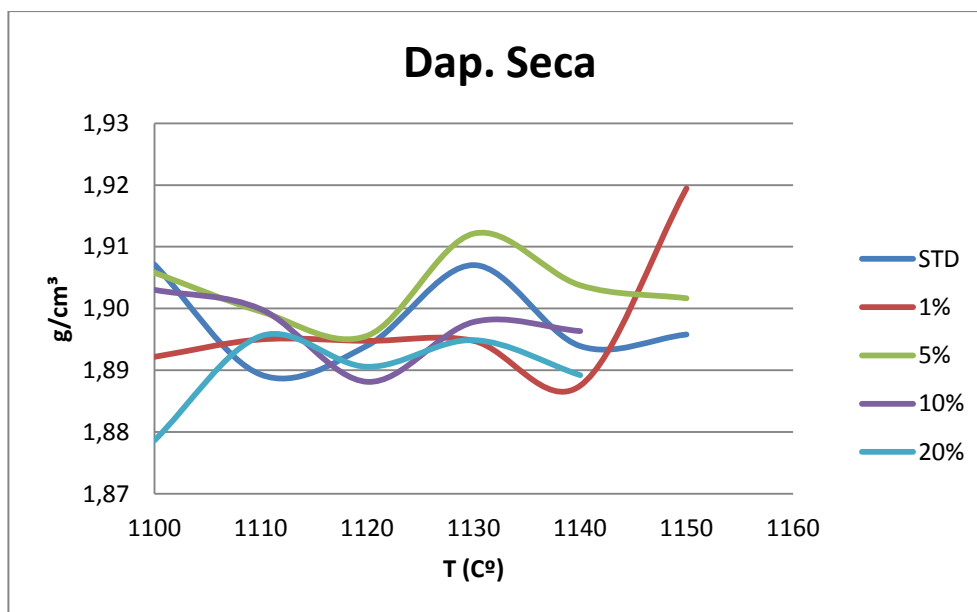
Na figura 10, percebe-se que os valores de perda ao fogo do RLG se assemelha com a quantidade de matéria orgânica obtidas na análise química. Moreira; Oliveira; Lima (2001) concluem que acima dos 600 °C observa-se uma nova reação endotérmica, e que está relacionada com a decomposição da matéria orgânica.

Figura 10: Perda ao Fogo.



A interferência da introdução do RLG na massa padrão nos parâmetros dap. seca, dap. de queima, retração de queima e absorção de água, podem ser melhor observados nas figuras de diluições seguintes (figuras 11, 12 e 13). As temperaturas de queima para as diluições partiram da temperatura de 1100 °C tendo em vista que as peças de RLG começam a se deformar a partir dessa temperatura.

Figura 11: Densidade Aparente Seca: Diluições



Observa-se que não houve forte interferência das diluições na Dap. seca, com todos os valores ficando entre os valores de 1,88 e 1,92 g/cm³.

Figura 12: Densidade Aparente de Queima: Diluições.

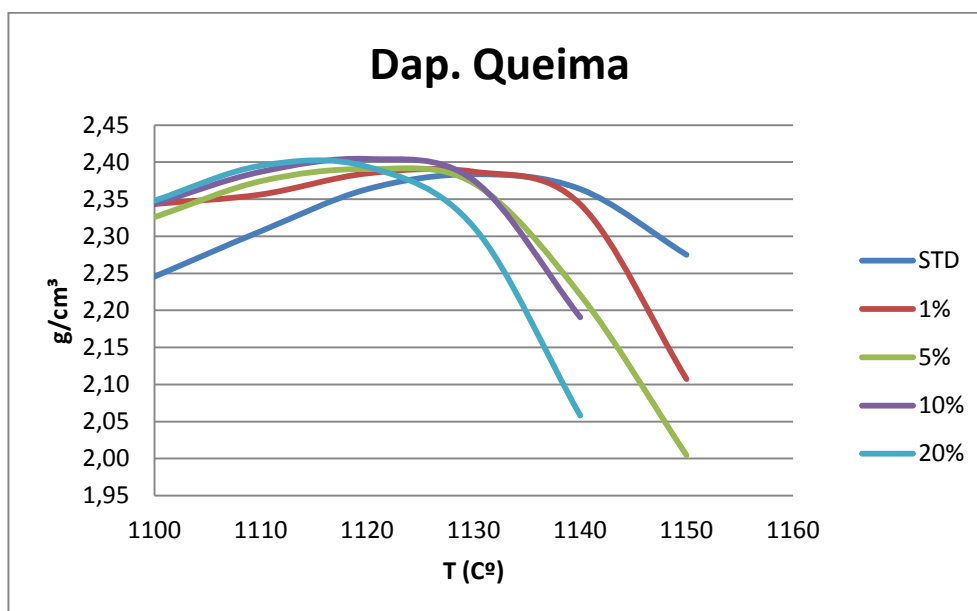
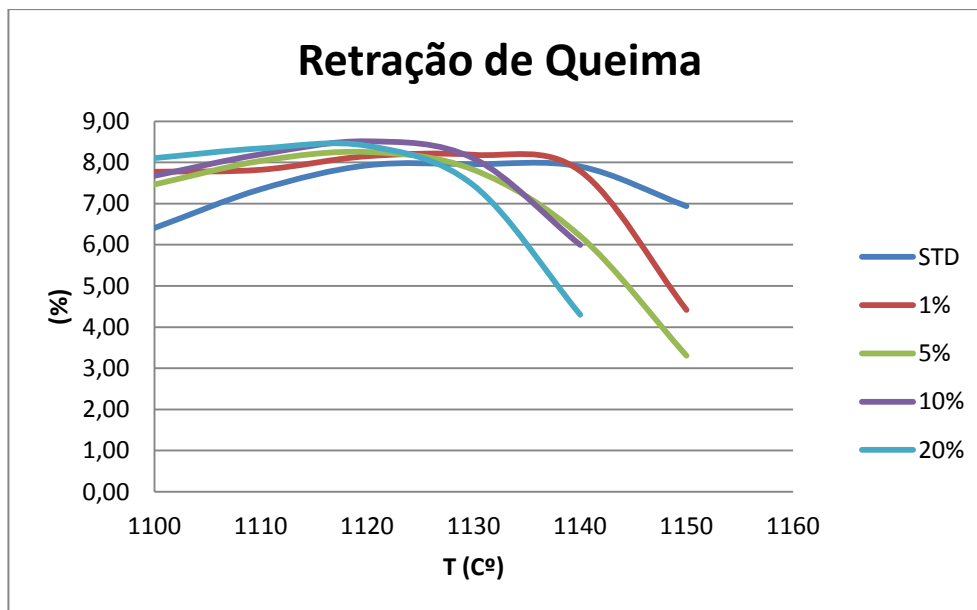
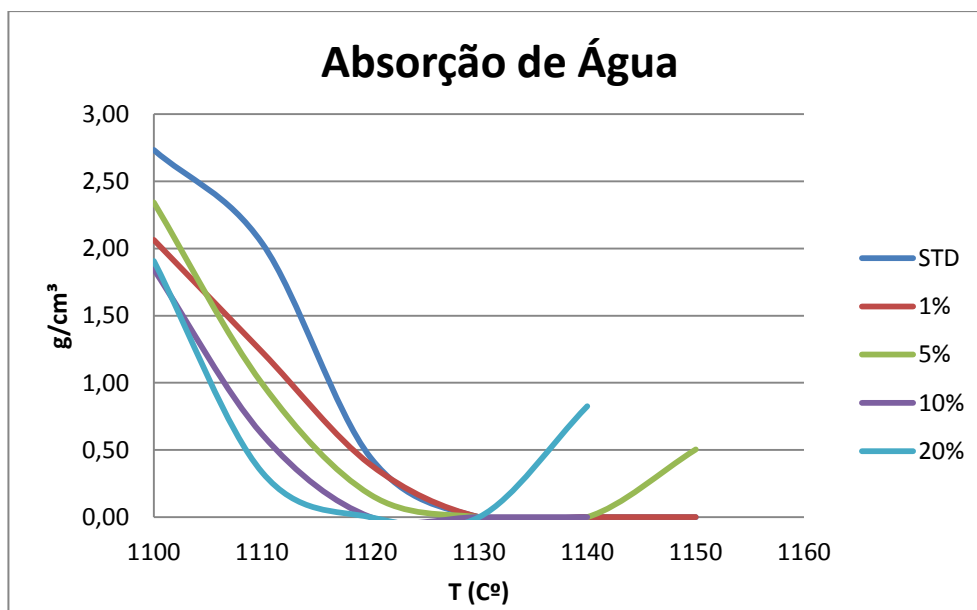


Figura 13: Retração de Queima: Diluições

Nas Figuras 12 e 13 confirma-se o observado na comparação entre o material STD e o RLG, onde devido ao ponto de fusão do RLG ser menor que o do STD a dap. queima e a retração de queima, das peças com maior percentagem de mistura, começam maior e em seguida com a fusão das peças acabam decaindo devido a deformação que a mesma sofre.

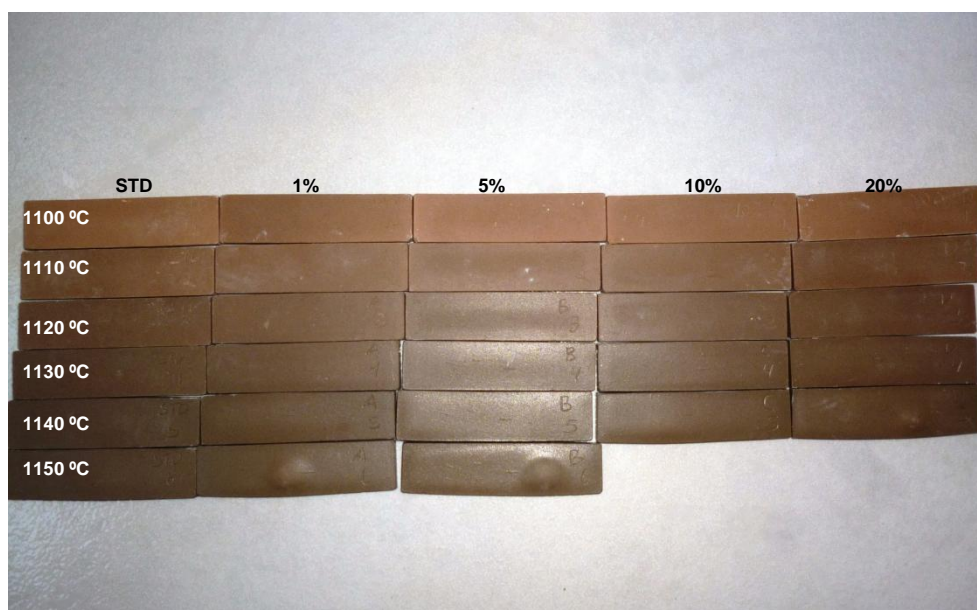
O ponto de fusão das peças também fica claro na figura 14 a seguir, onde as peças com maior teor de RLG possuem absorção zero em temperatura menor, 1120 °C para as diluições de 10 e 20% e 1130 °C para as diluições STD, 1 e 5%.

Figura 14: Absorção de Água: Diluições



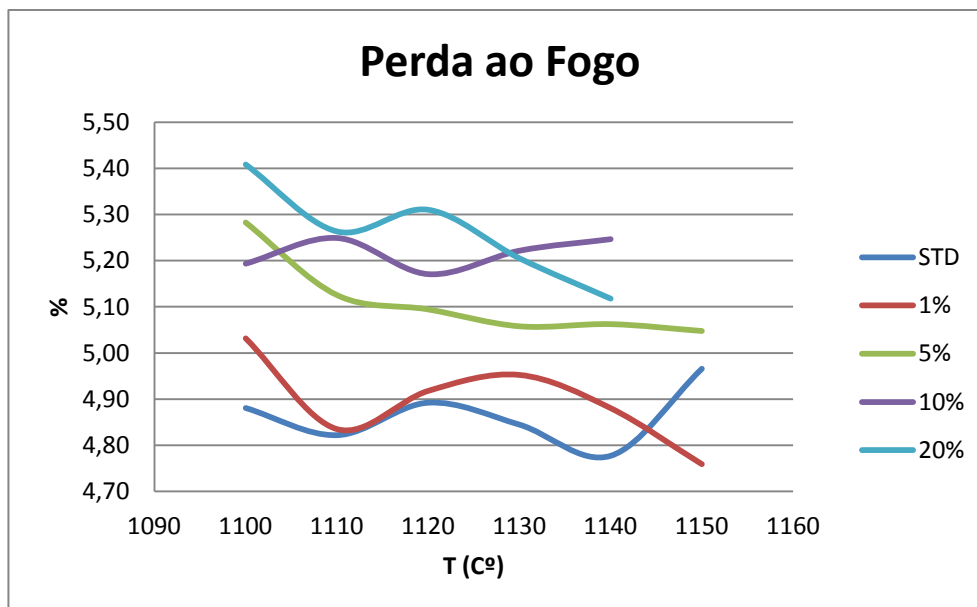
Na figura 15, a seguir, observa-se a deformação nas temperaturas mais elevadas de cada concentração, comprovando que as mesmas atingiram seus pontos de fusão. Não foi realizada a queima a 1150 °C nas diluições de 10% e 20% em razão de já ser observado as deformações a 1140 °C.

Figura 15: Deformação nas peças de maior temperatura de queima



Na perda ao fogo (figura 16), também se confirma o esperado da comparação entre a massa de RLG e a massa STD, onde quanto maior a diluição, maior a perda ao fogo apresentado pela peça.

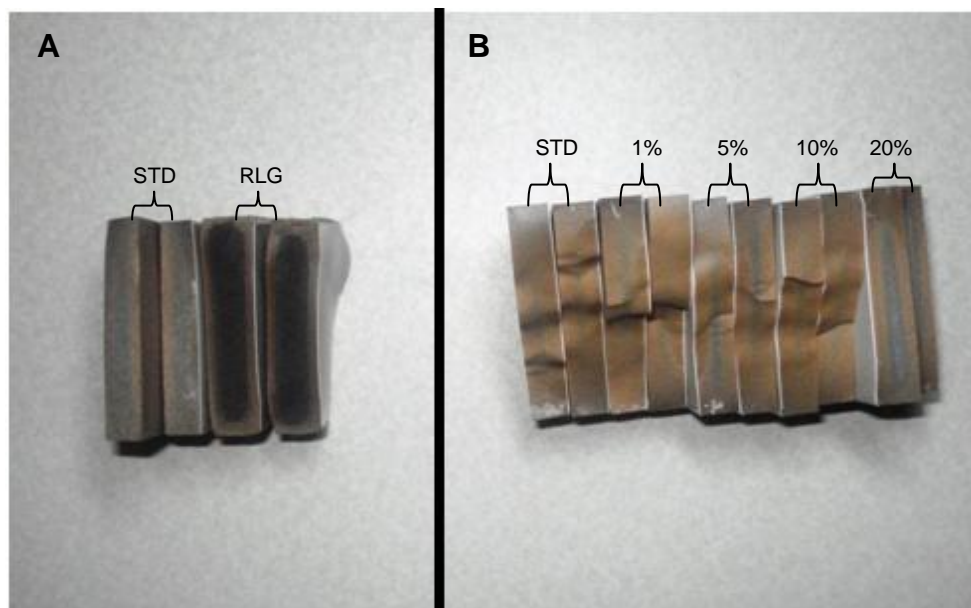
Figura 16: Perda ao fogo: Diluições



5.2.3 Coração Negro

De acordo com Damiani et al (2001), é um dos problemas mais comuns na indústria cerâmica. Consiste na formação de uma região escura que se estende paralelamente à face da peça, geralmente desaparecendo nas extremidades, conforme pode ser observado na Figura 17.

Figura 17: Visualização do Coração Negro na comparação STD e RLG (A) e nas diluições STD, 1%, 5%, 10% e 20% (B)



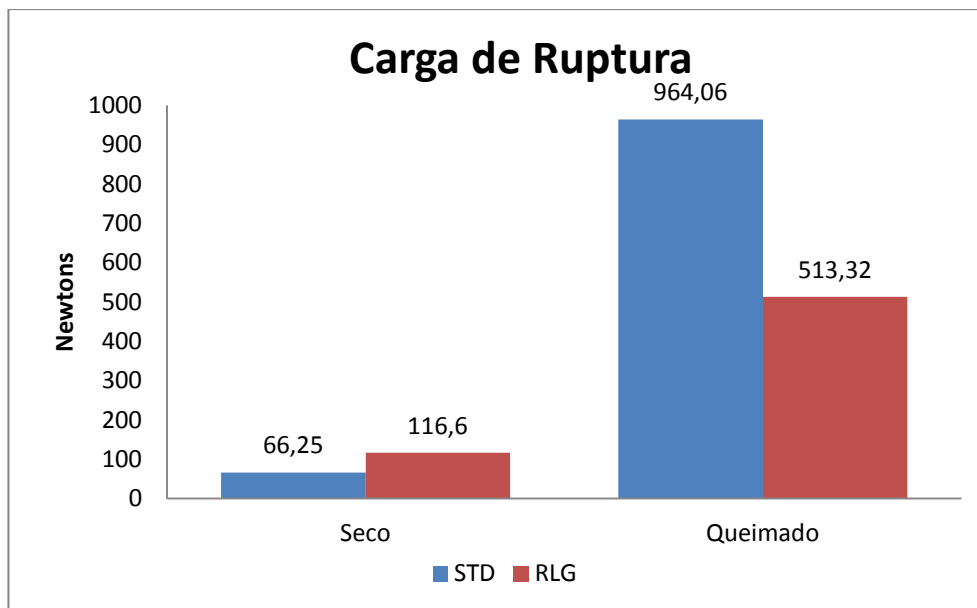
Percebe-se que na figura 17A, o coração negro desenvolvido pela peça de RLG é bem superior em comparação a peça STD, ocupando praticamente toda a espessura da peça. Na figura 17B, percebe-se que conforme se aumenta as diluições, a espessura do coração negro também aumenta, exceto na peça com 10% de diluição, onde por motivo de uma trinca ocorrida na fase de queima, possibilitou a fuga dos gases liberados pela oxidação da matéria orgânica. Segundo Henrique (2012), a trinca pode ter ocorrido na etapa de resfriamento, devido ao choque térmico.

De acordo com Biffi (2000), o coração negro se desenvolve na etapa de pré-queima a temperaturas que flutuam entre os 600 aos 900-1000°C, que é a etapa de liberação dos gases e onde ocorre o fechamento dos poros e vitrificação do esmalte.

5.2.4 Carga de ruptura

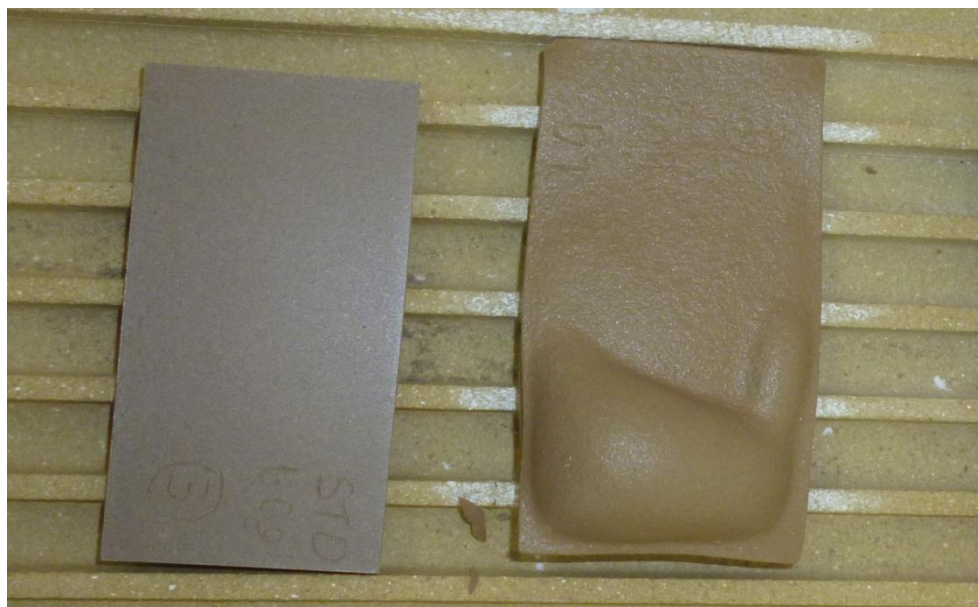
A carga de ruptura das peças STD com a carga de ruptura das peças de RLG pode ser comparadas na Figura 18.

Figura 18: Comparação da carga de ruptura das peças STD e das peças de RLG.



Observa-se que antes da queima, as peças de RLG apresentam carga de ruptura superior às peças STD, porém, após a queima, as peças de RLG apresentaram carga de ruptura menor. Uma possível causa para a baixa carga de ruptura é o fato da peça de RLG ter passado do ponto de fusão durante a queima, ocasionando deformação na peça, conforme pode ser observado na figura 19.

Figura 19: Peças queimadas STD (E) e RLG (D).



A influência das diluições na carga de ruptura seca pode ser observada na figura 20 e carga de ruptura após queima na figura 21.

Figura 20: Carga de ruptura seca: Diluições

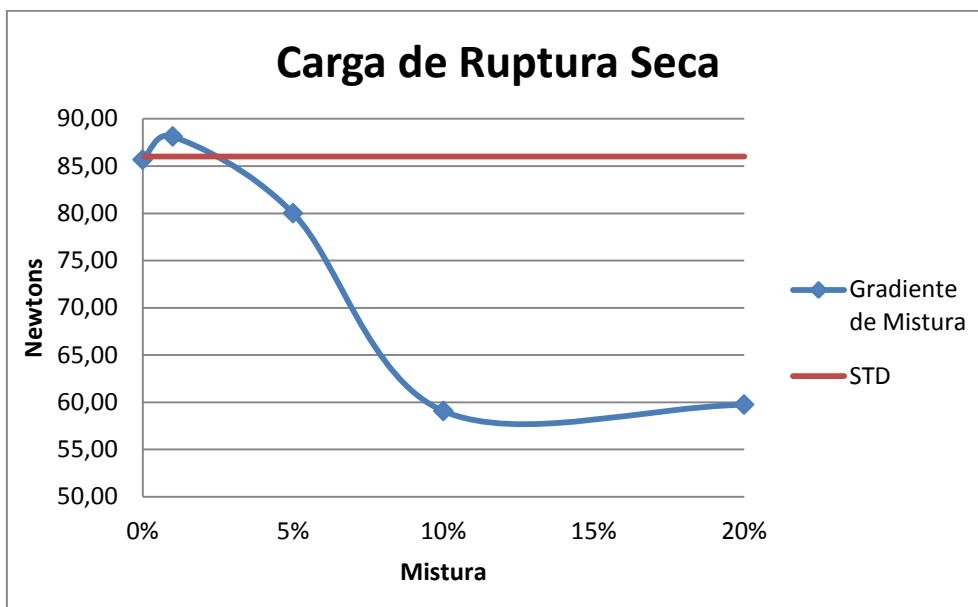
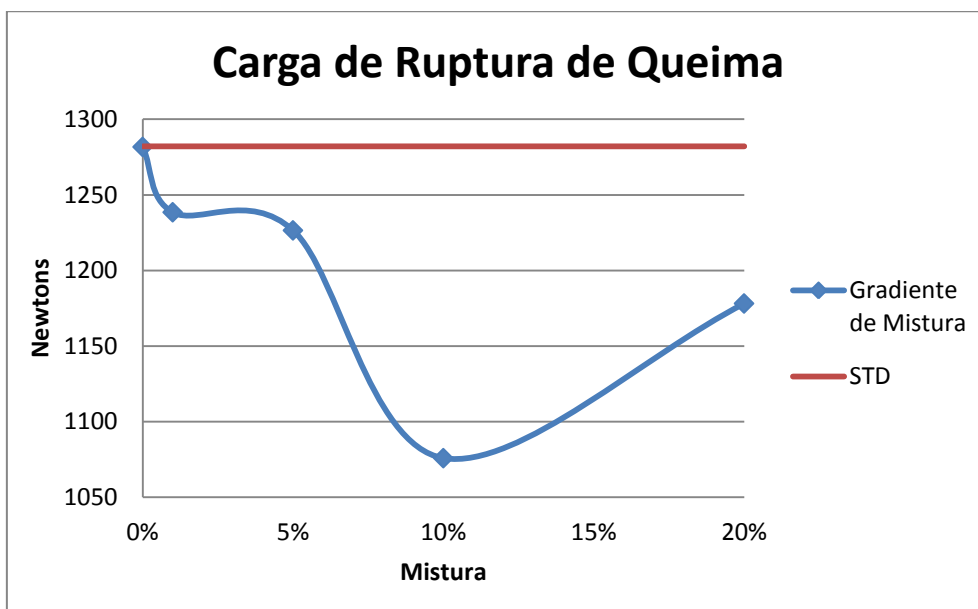


Figura 21: Carga de ruptura de queima: Diluições



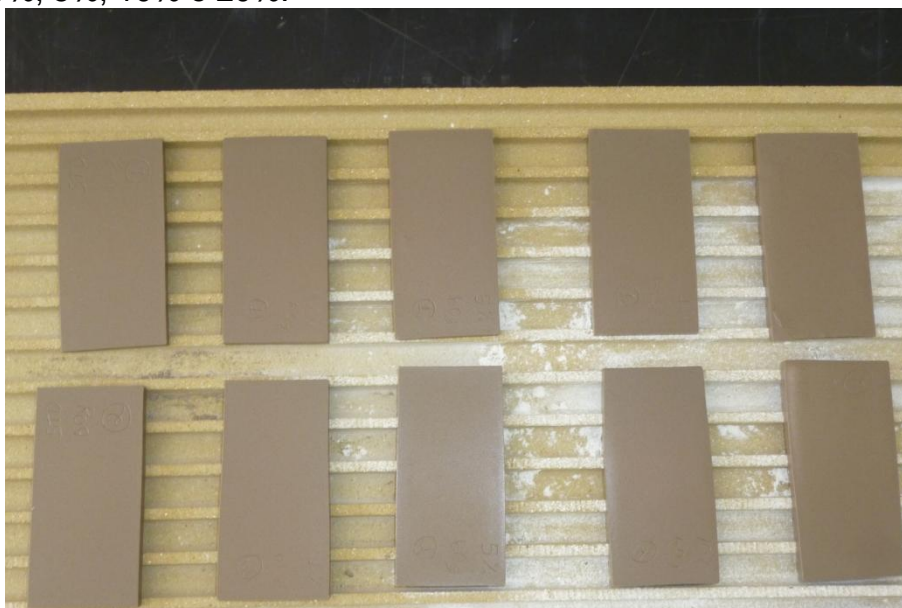
Na figura 20, observa-se que a carga de ruptura seca tem um leve aumento na diluição de 1% (88 N) em comparação com a massa padrão (85 N) em seguida com o aumento no teor das diluições a carga de ruptura apresenta um forte

decréscimo chegando a 59 N. Analisando a figura 18, esperava-se um aumento na resistência a verde, o que acabou não acontecendo.

Com a figura 21, percebe-se que com o aumento da diluição até 10% a carga de ruptura sofre redução chegando a 1076 N, em seguida ocorre um aumento.

Conforme figura 22, das peças utilizadas para o cálculo da carga de ruptura de queima, apenas as peças com diluição de 20% sofreram deformações.

Figura 22: Peças utilizadas para cálculo de ruptura de queima nas concentrações STD, 1%, 5%, 10% e 20%.



Esse parâmetro pode ser influenciado por diversos fatores, entre eles: granulometria excessivamente fina ou grossa, estrutura da peça prensada e temperatura de queima (BIFFI, 2000; FRASCO, 2000 In COSTA, 2000). A etapa de esmaltação também contribui para melhorar a resistência da peça (OLIVEIRA; MAGANHA, 2006).

5.3 QUANTIFICAÇÃO DE RESÍDUO GERADO

A quantidade de resíduo gerado no lavador de gases segue conforme tabela 6.

Tabela 06: Quantificação de resíduo gerado no Lavador de Gases

Análise	Densidade (t/m³)	Umidade (%)	Volume (m³/dia)	Massa (t/dia)	Água (t/dia)	Sólidos (t/dia)
Medida 02/09	1,12	85,73	10,080	11,290	9,678	1,612
Medida 05/09	1,12	85,79	7,409	8,298	7,118	1,179
Medida 07/09	1,12	84,61	7,442	8,335	7,052	1,283
Medida 10/09	1,12	82,90	9,639	10,796	8,949	1,846
Medida 12/09	1,12	82,73	11,576	12,965	10,726	2,239
			Média	10,337	8,705	1,632

Com esses dados pode-se verificar que há uma produção média de 10,337 toneladas de lodo adensado por dia, sendo 1,632 toneladas de sólidos que podem servir como matéria-prima.

A empresa em estudo utiliza diariamente em torno de 400 toneladas de matéria-prima seca. Sendo assim, a reutilização total de resíduo seco, incorporado na matéria-prima, corresponderá de 0,32 a 0,56%.

6. CONCLUSÃO

A indústria cerâmica apresenta grande potencial para o reaproveitamento de diversos resíduos que podem ser gerados tanto na própria indústria como em indústrias externas (JOAQUIM, 2009). Porém, para que o reaproveitamento do resíduo obtenha sucesso, é imprescindível o conhecimento da cadeia de geração bem como o conhecimento das características físicas e químicas do mesmo e o processo ao qual se deseja integrar esse resíduo.

A reutilização do lodo cerâmico tem um importante papel na economia e na diminuição da poluição ambiental. Nas indústrias cerâmicas, isso pode ser alcançado com a substituição de uma ou mais matérias-primas da composição original por lodo cerâmico, respeitando-se as propriedades do produto e as características tecnológicas (CASAGRANDE et al 2008). De acordo com Souza, Santos; Gon (2007), essa substituição é favorecida com a alta produtividade e características técnicas que possibilitam a incorporação de diferentes tipos de materiais.

Conforme testes realizados na empresa, o resíduo proveniente da ETE do lavador de gases que passa pelo processo de prensagem, apresenta umidade média de 38%, com isso é gerado de lodo o correspondente a 2,25 t/dia ou 67,5 t/mês. Considerando-se o valor pago para disposição final, significará assim uma economia entorno de R\$ 4,6 mil/mês, não levando em consideração outros custos adicionais como utilização de filtro-prensa, consumo de energia, entre outros.

Além das vantagens econômicas como a redução de custos com matérias-primas, a reutilização de rejeitos no processo produtivo prevê um importante ganho ambiental, como a prolongação da vida útil de aterros, não havendo mais a necessidade da disposição final, e prevenindo também a contaminação de recursos naturais em função da disposição inadequada.

Para que não haja imprevistos no processo industrial, é de fundamental importância o desenvolvimento de testes em escala laboratorial, assim como o conhecimento de limites de até onde se pode modificar o processo sem comprometer a qualidade do produto.

Assim, o presente trabalho apresentou valores favoráveis à introdução do resíduo proveniente do lavador de gases no processo produtivo de porcelanato esmaltado da empresa em estudo para uma quantidade de 1% (um por cento) a 5%

(cinco por cento) em sólidos, que podem ser adicionados tanto na forma de massa seca, juntamente com as demais matérias-primas, ou em forma de solução (lodo adensado), juntamente com a água para moagem.

Os parâmetros limitantes para se encontrar tal limite (entre 1 e 5%) foram: i) viscosidade da barbotina: influenciada principalmente pelo teor de sulfatos presentes no resíduo do lavador de gases; ii) coração negro: proveniente da oxidação da matéria orgânica; e, iii) carga de ruptura: dependente principalmente da granulometria das matérias-primas e das condições de queima. Outros parâmetros como a retração de queima e absorção de água, podem ser corrigidos com a diminuição da temperatura de queima.

Devido ao fato do teor de 5% apresentar influências negativas (principalmente em relação à viscosidade), recomenda-se, por questão de segurança, a adição de resíduo no limite de até 1%, o qual já permite a incorporação total do resíduo produzido na empresa em estudo, e a realização de novos testes, com diluições entre esses valores (1 a 5%), com objetivo de encontrar o valor limite sem que ocorra influências que comprometam o processo produtivo.

De acordo com a European Commission (2007), em indústrias cerâmicas, na etapa de preparação de massa por via úmida, pode ser facilmente implementado sistemas para reaproveitamento de lodo, com a vantagem adicional de ser capaz de usar a água contida no lodo no processo de moagem. Para tanto, é necessário um rigoroso controle nos teores de água e sólidos contidos na solução de lodo, para que não haja interferência no processo.

Deste modo, tendo em vista os benefícios citados e a geração de resíduo, que corresponde a um teor máximo de introdução de 0,56%, estando, portanto abaixo do limite de segurança encontrado (1%), conclui-se que é viável tecnicamente a reutilização do resíduo gerado no lavador de gases, desde que se tenha absoluto controle sobre a adição do mesmo ao processo produtivo.

O reaproveitamento de resíduo desenvolve uma melhoria no processo, sendo uma das características da Produção mais Limpa, diminuindo a necessidade por tecnologias fim-de-tubo. De acordo com a CNTL (2000 apud DOMINGUES; PAULINO, 2007), as ações para implementar a P+L devem estar sempre voltadas aos benefícios relacionados ao meio ambiente, à saúde e segurança ocupacional e à economia da empresa.

Seguindo a figura 01 “Princípios Hierárquicos da P+L: O que fazer com os resíduos?”, pode-se enquadrar o presente trabalho ao nível 2 da Produção mais Limpa, onde trata-se de reciclagem interna, dentro do processo de minimização de resíduos e emissões.

De acordo com Domingues; Paulino (2007) e Nascimento (2008), são vários os obstáculos para a implantação da P+L, sendo os principais em função da resistência à mudança, concepções errôneas, barreiras econômicas e barreiras técnicas. No presente trabalho, a principal dificuldade está associada a barreiras técnicas, principalmente devido às características químicas do resíduo, que em teores acima do estabelecido como limite, tornam inviável a reutilização do mesmo, podendo afetar o produto final, gerando desagregação de valor e danos econômicos à empresa.

7. REFERÊNCIAS

ALQAM, Maha; JAMRAH, Ahmad; DAGHLAS, Haya. Utilization of Cement Incorporated with Water Treatment Sludge. **Jordan Journal of Civil Engineering**, v. 5, n.2, 2011. Disponível em: < <http://elearning.just.edu.jo/jjce/issues/paper.php?p=1400.pdf>>. Acesso em 5 de agosto de 2012.

ANDRADE, Mônica Calixto de et al. RMIs: Rochas e Minerais para Cerâmica de Revestimento. In: CETEM. **Rochas e Minerais Industriais: Usos e Especificações**. Ministério da Ciência e Tecnologia - Centro de Tecnologia Mineral. Capítulo 27. p. 559-581. Rio de Janeiro. Novembro 2005. Disponível em: < <http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2005-140-00.pdf>>. Acesso em: 11 de setembro de 2012.

ANFACER, Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica. **Revestimentos Cerâmicos**. Disponível em: <www.anfacer.org.br>. Acesso em 31 de agosto de 2012.

ARAUJO, Juliano Bezerra. **Desenvolvimento de método de avaliação de desempenho de processos de manufatura considerando parâmetros de sustentabilidade**. 2010. 176 f. Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Área de Concentração em Processos e Gestão de Operações) – Universidade de São Paulo – São Carlos, SP.

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**. 2009. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Criciúma - SC.

BIFFI, Giovanni. **Defeitos de fabricação das placas cerâmicas**. Rio Claro, SP: Faenza Editrice, 120 p. 2000.

BLASCO, A. **Tratamiento de emisiones gaseosas efluentes líquidos y residuos sólidos de la industria cerámica**. Italia: AICE, 191 p. 2000.

BRASIL. CONAMA. Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997.

_____. Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial** [da República Federativa do Brasil], 03 de agosto de 2010. Brasília, DF. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 5 de agosto de 2012.

BRISTOT, Vilmar Menegon. **Máquinas e equipamentos para cerâmica**. Editora Luana, 352 p. Criciúma, SC. 1996.

BYLAARDT, Marina Paulino et al. **A Origem da Cerâmica**. Projeto Experimental Artesanato. Disponível em: <<http://www.eba.ufmg.br/alunos/kurtnavigator/arteartesanato/origem.html>>. Acesso em 31 de agosto de 2012.

CALIA, Rogério Cerávolo; GUERRINI, Fábio Müller. Estrutura Organizacional para a Difusão da Produção Mais Limpa: Uma Contribuição da Metodologia Seis Sigma na Constituição de Redes Intra-Organizacionais. **Gestão e Produção**, Universidade de São Paulo – USP, Escola de Engenharia de São Carlos – EESC, v.13, n.3, p. 531-543, Setembro/Dezembro 2006

CASAGRANDE, M. C et al. Reaproveitamento de resíduos sólidos industriais: processamento e aplicações no setor Cerâmico. **Cerâmica Industrial**, v. 13, n. 1-2, p. 34-42, Janeiro/Abril 2008.

COELHO, José Mário. **A Importância das Matérias-Primas Minerais na Competitividade do Segmento de Revestimentos Cerâmicos**. 1996. 123f. Dissertação (mestrado) Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências, Campinas – SP.

DAMIANI, Juliano C et al. Coração Negro em Revestimentos Cerâmicos: Principais Causas e Possíveis Soluções. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v.6, n.2, p. 12-16, Março/Abril 2001.

DOMINGUES, Rosely Mana; PAULINO, Sônia Regina. **Oportunidades para a Integração da Produção Mais Limpa em Sistemas Produtivos Locais**. IX ENGEMA – Encontro Nacional Sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente, Curitiba, 19 a 21 de novembro de 2007. Disponível em: <<http://engema.up.edu.br/arquivos/engema/pdf/pap0419.pdf>>. Acesso em 01 de outubro de 2012.

EUROPEAN COMMISSION. **Reference Document on Best Available Techniques in the Ceramic Manufacturing Industry**. 2007. Disponível em: <http://eippcb.jrc.es/reference/BREF/cer_bref_0807.pdf>. Acesso em 07 de agosto de 2012.

FERNANDES, P. F; OLIVEIRA, A. P. N; HOTZA, D. Reciclagem do Lodo da Estação de Tratamento de Efluentes de uma Indústria de Revestimentos Cerâmicos. Parte 1: Ensaio Laboratoriais. **Cerâmica Industrial**, v.8, n. 2, p. 26 – 34, Março/Abril 2003.

FERRARI, Kátia Regina et al. Ações para a Diminuição da Geração de Resíduos na Indústria de Revestimentos Cerâmicos e a Reciclagem as “Raspas”. Parte I: Resultados Preliminares. **Cerâmica Industrial**, v. 7, n. 2, p. 38 – 41, Março/Abril 2002.

FIGUEIREDO, Samia Cordeiro. **Estudo exploratório de Incorporação da Lama de Filtros Rotativos a Vácuo (LFRV), Gerada na Millennium Inorganic Chemicals, em uma Matriz Cerâmica Vermelha**. 2008. 160 f. Dissertação (mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Limpas no Processo Produtivo) – Universidade Federal da Bahia. Salvador, BA.

FONSECA, António Tomás da. **Tecnologia do Processamento Cerâmico**. Lisboa: Universidade Aberta, 2000. 554 p. ISBN 9726743206

FRASCO, Alberto Faria. Prefácio. In: COSTA, Lucília Verdelho da. **25 séculos de cerâmica**. Lisboa: Estampa, 2000. 157 p. ISBN 9723315882

FURTADO, João S. **Produção Limpa**. Parceria Teclim – JSFurtado, Novembro, 2001. Disponível em: < <http://www.teclim.ufba.br/jsf/inicialpl.php?imprimir=true>>. Acesso em 01 de outubro de 2012.

GÓIS, Igor de. **Porcelanato**. 2010. 18f. Trabalho de Graduação (Disciplina de Sistemas Estruturais em Concreto), Universidade Potiguar – Curso de arquitetura e Urbanismo, Natal – RN.

HENRIQUE, Patrick. **Noções Básicas de Porcelanato Técnico**. Elizabeth porcelanato, Criciúma – SC. 48 p. 2012

HENRIQUE, Patrick. **Porcellanato Eliane: O Primeiro é Sempre o Melhor. Projeto: Otimização da Resistência ao Manchamento**. 2003. 80f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade do Sul de Santa Catarina – UNISUL, Criciúma – SC.

JOAQUIM, Josilaine Teixeira. **Utilização de resíduos da mineração de carvão na indústria cerâmica**. 2009. 76 f. TCC (Curso de Tecnologia em Cerâmica) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2009.

LISBOA, Henrique de Melo; SCHIRMER, Waldir Nagel. Metodologia de Controle da Poluição Atmosférica, In: **Controle da Poluição Atmosférica**. Controle da Poluição Atmosférica – ENS/UFSC. Montreal. Primeira versão – Novembro Outubro 2007. Disponível em: < <http://www.lcqr.ufsc.br/adm/aula/Cap%207%20MetControle%20PATM.pdf>>. Acesso em: 20 de outubro de 2012.

LUZ, Adão Benvindo da; COELHO, José Mário. Feldspato. In: CETEM. **Rochas e Minerais Industriais: Usos e Especificações**. Ministério da Ciência e Tecnologia - Centro de Tecnologia Mineral. Capítulo 19. p. 413-429. Rio de Janeiro. Novembro 2005. Disponível em: < <http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2004-121-00.pdf>>. Acesso em: 11 de setembro de 2012.

MACINTYRE, Archibald Joseph. **Ventilação industrial e controle da poluição**. 2 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1990. 403 p. ISBN 8527701715.

MARINO, Luís Fernando Bruno; BOSCHI, Anselmo Ortega. A Expansão Térmica de Materiais Cerâmicos Parte III: Efeitos da Adição de Calcita. **Cerâmica Industrial**, São Paulo , v.3, n. 4-6, p. 18-23, Julho/Dezembro 1998.

MELCHIADES, Fábio Gomes et al. Controle Dimensional e do Formato de Revestimentos Cerâmicos. Parte I: Dimensões. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 6, n. 5, p. 27-33, Setembro/Outubro 2001.

MELCHIADES, Fábio Gomes; MACHADO, Rogério; BOSCHI, Anselmo O. Caracterização de uma Jazida de Caulim de Campo Alegre (SC). **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v.7, n.6, p. 30-33, Novembro/Dezembro 2002.

MOREIRA, A. H; OLIVEIRA, R. M; LIMA, P. D. S. Efeito da adição de águas residuais da indústria têxtil nas propriedades de materiais de construção. **Cerâmica**, v. 47, n. 303, p. 158-162, 2001. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ce/v47n303/6596.pdf>>. Acesso em: 20 de outubro de 2012.

MORENO, A et al. Relação entre as Características da Água e o Comportamento Reológico das Suspensões de Esmalte Durante a Moagem. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 7, n. 6, p. 19-26, Novembro/Dezembro 2002.

MOTTA, José Francisco Marciano; CABRAL JUNIOR, Marsis; TANNO, Luiz Carlos. Panorama das Matérias-Primas Utilizadas na Indústria de Revestimentos Cerâmicos: Desafios ao Setor Produtivo. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v.3, n.4, p. 30-38, Julho/Dezembro 1998.

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

NANDI, V.S et al. Caracterização de Resíduo Sólido de ETE da Indústria Cerâmica de Revestimento. **Cerâmica Industrial**, v. 12, n. 2, p. 32-35, Março/Abril 2012.

NASCIMENTO, Luís Felipe. **Gestão Ambiental e a Sustentabilidade**. 190 f. 2008. Disponível em: <http://www.faad.icsa.ufpa.br/admead/documentos/submetidos/gestao_ambiental_e_sustentabilidade-1.pdf>. Acesso em 01 de outubro de 2012.

OLIVEIRA, Antonio Pedro Novaes de. Tecnologia de Fabricação de Revestimentos Cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v.5, n. 6, p. 37-47, Novembro/Dezembro 2000.

OLIVEIRA, Maria Cecília; MAGANHA, Martha Faria Bernils. **Guia técnico ambiental da indústria de cerâmicas branca e de revestimentos - Série P+L**. 90 p. São Paulo: CETESB, 2006. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Tecnologia/producao_limpa/documentos/ceramica.pdf>. Acesso em: 14 de setembro de 2012.

OLIVEIRA, Marilza do Carmo et al. **Manual de impactos ambientais – orientações básicas sobre aspectos ambientais de atividades produtivas** Banco do Nordeste. 297p. Fortaleza, CE. 1999. Disponível em: <<http://www.cartilhasecia.com.br/gestao-socioambiental/manual-de-impactos-ambientais-orientacoes-basicas-sobre-aspectos-ambientais-de-atividades-produtivas>>. Acesso em: 14 de setembro de 2012.

PEREIRA, Sílvia Izaura. **Estudo da incorporação de cinza proveniente da queima de lenha de eucalipto na formulação de massa de uma indústria cerâmica estrutural do sul catarinense**. 2010. 13 f. TCC Artigo (Graduação em Tecnologia e Cerâmica) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2010 .

PIZZOLATO, Morgana. **Gestão Ambiental e Sustentabilidade**. 30 p. 2011. Disponível em: <<http://w3.ufsm.br/engproducao/wp-content/uploads/c-2308-PmaisLimpa.pdf>>. Acesso em 01 de outubro de 2012.

PÔRTO, Luiz Carlos, **Diferença Entre Produção Limpa e Produção Mais Limpa**. Silva Porto Consultoria Ambiental, 2009. Disponível em: <<http://www.silvaporito.com.br/blog/?p=252>>. Acesso em 01 de outubro de 2012.

PORTOBELLO. **Processo Produtivo**. 2012. Disponível em <http://www.portobello.com.br/pt_BR/empresa/116562>. Acesso em 14 de setembro de 2012.

RIBEIRO, Manuel J.; VENTURA, José M.; LABRINCHA, João A. A Atomização como Processo de Obtenção de Pós para a Indústria Cerâmica. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v.6, n.5, p. 34-40, Setembro/Outubro 2001.

RICCO JUNIOR, Edison. Lavador de Gás Tipo Venturi. **Meio Filtrante**. Ano V – Ed. 25, Março/Abril 2007. Disponível em: <<http://www.meiofiltrante.com.br/materias.asp?action=detalhe&id=285>> Acesso em: 26 de novembro de 2011.

SAMPAIO, João Alves et al. **Cerâmica - Eliane Revestimentos Cerâmicos S. A. – Sc**. Ministério da Ciência e Tecnologia - Centro de Tecnologia Mineral. Rio de Janeiro. 2002. Disponível em: <<http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2002-162-00.pdf>>. Acesso em: 15 de setembro de 2012.

SENAI.RS. **Implementação de Programas de Produção mais Limpa**. Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI-RS/UNIDO/INEP. 42 p. Porto Alegre. 2003. Disponível em:<http://wwwapp.sistemafiergs.org.br/portal/page/portal/sfiergs_senai_uos/senairs_uo697/proximos_cursos/implementa%E7%E3o%20PmaisL.pdf>. Acesso em: 01 de outubro de 2012.

SILVA FILHO, Julio Cesar Gomes da et al. Aplicação da Produção mais Limpa em uma empresa como ferramenta de melhoria contínua. **Produção**. v.17, n.1, p.109-128, Abr 2007. ISSN 0103-6513. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-65132007000100008&script=sci_arttext>. Acesso em: 05 de agosto de 2012.

SILVA, Jorge Elias da. **Controle de Processo**. Curso de Tecnologia Cerâmica, 2001. Disponível em: <<http://www.9cecemm.ufsc.br/anais/minicursos/CONTROLEPROCESSO.pdf>>. Acesso em 01 de novembro de 2012.

SOUZA, Marck Rodrigues; SANTOS, Paulo Sérgio Barbosa dos; GON, Rafael. **Estudo de Caso Sobre Materiais Cerâmicos**. 2007. 37 f. Estudo de Caso. Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium de Araçatuba SP – Curso de Engenharia Mecatrônica. Araçatuba – SP, 2007.

TANNO, Luiz Carlos; MOTTA, José Francisco Marciano. Panorama Setorial – Minerais Industriais. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v.5, n. 3, p. 37-40, Maio/Junho 2000.

VELHO, Pedro Luiz Troes. **Estudo para reaproveitamento de rejeito cerâmico na produção de engobes**. 2010. 12 f. TCC Artigo (Graduação em Tecnologia e Cerâmica) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2010.

ZAPPELINI, Emilio. **Reaproveitamento de resíduos industriais na produção de placas cerâmicas**. 2009. 73 f. TCC (Curso de Engenharia Civil) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2009.

APÉNDICE

Apêndice A: Valores obtidos do Resíduo do Lavador de Gases para comparar com a massa STD

TESTE RLG - COMPARAÇÃO

Densidade	1,33
Resíduo (mL/50mL) #200	0 (Zero)
Viscosidade (s)	21 (Empapo)

Peça	T	Peso úmido	Peso seco	Empuxo seco	Peso queimado	Empuxo queimado	Peso absorvido
1	1100	20,07	18,94	138,03	17,58	105,3	18,33
2	1110	20,01	18,88	137,9	17,48	102,63	17,94
3	1120	19,95	18,85	138,8	17,48	100,75	17,73
4	1130	20,12	18,99	139,16	17,6	98,6	17,66
5	1140	20,13	19,01	139,22	17,64	98,19	17,64
6	1150	20,12	18,99	138,44	17,63	99,22	17,63
7	1160	20,1	18,94	137,92	17,58	106,57	17,58
8	1170	20,05	18,94	138,4	17,56	134,44	18,03

Peça	T	Umidade (%)	Dap. Seco (g/cm³)	Dap. Queima (g/cm³)	Retração de Queima (%)	Perda ao Fogo (%)	Absorção de Água (%)
1	1100	5,97	1,86	2,26	7,90	7,2	4,27
2	1110	5,99	1,85	2,31	8,53	7,4	2,63
3	1120	5,84	1,84	2,35	9,14	7,3	1,43
4	1130	5,95	1,85	2,42	9,72	7,3	0,34
5	1140	5,89	1,85	2,43	9,82	7,2	0,00
6	1150	5,95	1,86	2,41	9,44	7,2	0,00
7	1160	6,12	1,86	2,23	7,58	7,2	0,00
8	1170	5,86	1,85	1,77	0,95	7,3	2,68

Apêndice B: Valores obtidos da massa STD para comparar com o Resíduo do Lavador de Gases

TESTE STD - COMPARAÇÃO

Densidade	1,6
Resíduo (mL/50mL) #200	1,2
Viscosidade (s)	36

Peça	T	Peso úmido	Peso seco	Empuxo seco	Peso queimado	Empuxo queimado	Peso absorvido
1	1100	20,05	18,94	129,3	18,01	118,45	19,76
2	1110	20,1	19,04	130,03	18,13	117,8	19,75
3	1120	20,05	18,96	128,55	18,05	115,8	19,51
4	1130	20,07	18,94	128,12	18,01	113,08	19,25
5	1140	19,97	18,84	127,94	17,91	110,01	18,9
6	1150	20	18,92	129,25	18	108,73	18,77
7	1160	20,04	18,96	129	18,02	106,94	18,58
8	1170	20,13	19,07	130,5	18,14	105,98	18,48

Peça	T	Umidade (%)	Dap. Seco (g/cm ³)	Dap. Queima (g/cm ³)	Retração de Queima (%)	Perda ao Fogo (%)	Absorção de Água (%)
1	1100	5,86	1,98	2,06	2,80	4,9	9,72
2	1110	5,57	1,98	2,08	3,14	4,8	8,94
3	1120	5,75	2,00	2,11	3,31	4,8	8,09
4	1130	5,97	2,00	2,16	3,91	4,9	6,89
5	1140	6,00	1,99	2,20	4,67	4,9	5,53
6	1150	5,71	1,98	2,24	5,29	4,9	4,28
7	1160	5,70	1,99	2,28	5,70	5,0	3,11
8	1170	5,56	1,98	2,32	6,26	4,9	1,87

Apêndice C: Valores obtidos da diluição STD

TESTE STD - DILUIÇÃO

Densidade	1,34
Resíduo (mL/50mL) #200	0,9
Viscosidade (s)	12

Peça	T	Peso úmido	Peso seco	Empuxo seco	Peso queimado	Empuxo queimado	Peso absorvido
1	1100	20,01	18,85	133,83	17,93	108,11	18,42
2	1110	20,21	19,08	136,74	18,16	106,59	18,53
3	1120	20,12	19,01	135,9	18,08	103,58	18,16
4	1130	20,12	18,99	134,83	18,07	102,65	18,07
5	1140	19,98	18,84	134,69	17,94	102,77	17,94
6	1150	20,05	18,93	135,2	17,99	107,07	17,99

Peça	T	Umidade (%)	Dap. Seco (g/cm³)	Dap. Queima (g/cm³)	Retração de Queima (%)	Perda ao Fogo (%)	Absorção de Água (%)
1	1100	6,15	1,91	2,25	6,41	4,9	2,73
2	1110	5,92	1,89	2,31	7,35	4,8	2,04
3	1120	5,84	1,89	2,36	7,93	4,9	0,44
4	1130	5,95	1,91	2,38	7,96	4,8	0,00
5	1140	6,05	1,89	2,36	7,90	4,8	0,00
6	1150	5,92	1,90	2,28	6,94	5,0	0,00

Apêndice D: Valores obtidos da diluição 1%

TESTE A (1%) - DILUIÇÃO

Densidade	1,34
Resíduo (mL/50mL) #200	0,9
Viscosidade (s)	12,0

Peça	T	Peso úmido	Peso seco	Empuxo seco	Peso queimado	Empuxo queimado	Peso absorvido
12	1100	19,87	18,88	135,1	17,99	103,6	18,3
2	1110	19,78	18,82	134,47	17,91	102,92	18,13
3	1120	19,87	18,91	135,13	17,98	102,09	18,05
4	1130	19,98	18,98	135,63	18,04	102,33	18,04
5	1140	19,84	18,85	135,22	17,93	103,61	17,93
6	1150	19,71	18,7	131,91	17,81	114,44	17,81

Peça	T	Umidade (%)	Dap. Seco (g/cm³)	Dap. Queima (g/cm³)	Retração de Queima (%)	Perda ao Fogo (%)	Absorção de Água (%)
12	1100	5,24	1,89	2,35	7,77	4,7	1,72
2	1110	5,10	1,90	2,36	7,82	4,8	1,23
3	1120	5,08	1,89	2,38	8,15	4,9	0,39
4	1130	5,27	1,89	2,39	8,18	5,0	0,00
5	1140	5,25	1,89	2,34	7,79	4,9	0,00
6	1150	5,40	1,92	2,11	4,41	4,8	0,00

Apêndice E: Valores obtidos da diluição 5%

TESTE B (5%) - DILUIÇÃO

Densidade	1,34
Resíduo (mL/50mL) #200	0,9
Viscosidade (s)	12,4

Peça	T	Peso úmido	Peso seco	Empuxo seco	Peso queimado	Empuxo queimado	Peso absorvido
1	1100	19,87	18,93	134,49	17,93	104,38	18,35
2	1110	20,11	19,12	136,29	18,14	103,44	18,32
3	1120	20,02	19,04	136	18,07	102,34	18,1
4	1130	19,98	18,98	134,4	18,02	102,88	18,02
5	1140	20,17	19,16	136,27	18,19	110,87	18,19
6	1150	19,83	18,82	134	17,87	120,7	17,96

Peça	T	Umidade (%)	Dap. Seco (g/cm ³)	Dap. Queima (g/cm ³)	Retração de Queima (%)	Perda ao Fogo (%)	Absorção de Água (%)
1	1100	4,97	1,91	2,33	7,46	5,3	2,34
2	1110	5,18	1,90	2,37	8,03	5,1	0,99
3	1120	5,15	1,90	2,39	8,25	5,1	0,17
4	1130	5,27	1,91	2,37	7,82	5,1	0,00
5	1140	5,27	1,90	2,22	6,21	5,1	0,00
6	1150	5,37	1,90	2,00	3,31	5,0	0,50

Apêndice F: Valores obtidos da diluição 10%

TESTE C (10%) - DILUIÇÃO

Densidade	1,34
Resíduo (mL/50mL) #200	0,9
Viscosidade (s)	13,3

Peça	T	Peso úmido	Peso seco	Empuxo seco	Peso queimado	Empuxo queimado	Peso absorvido
1	1100	19,89	18,87	134,26	17,89	103,35	18,22
2	1110	19,92	18,86	134,41	17,87	101,36	17,98
3	1120	19,99	18,76	134,53	17,79	100,18	17,79
4	1130	19,98	18,96	135,27	17,97	102,43	17,97
5	1140	20,04	19,06	136,09	18,06	111,62	18,06

Peça	T	Umidade (%)	Dap. Seco (g/cm ³)	Dap. Queima (g/cm ³)	Retração de Queima (%)	Perda ao Fogo (%)	Absorção de Água (%)
1	1100	5,41	1,90	2,34	7,67	5,2	1,84
2	1110	5,62	1,90	2,39	8,20	5,2	0,62
3	1120	6,56	1,89	2,40	8,51	5,2	0,00
4	1130	5,38	1,90	2,38	8,09	5,2	0,00
5	1140	5,14	1,90	2,19	5,99	5,2	0,00

Apêndice G: Valores obtidos da diluição 20%**TESTE D (20%) - DILUIÇÃO**

Densidade	1,34
Resíduo (mL/50mL) #200	0,9
Viscosidade (s)	13,5

Peça	T	Peso úmido	Peso seco	Empuxo seco	Peso queimado	Empuxo queimado	Peso absorvido
1	1100	19,91	18,86	135,93	17,84	102,87	18,18
2	1110	20,09	19	135,72	18	101,75	18,06
3	1120	20,14	19,02	136,22	18,01	101,87	18,01
4	1130	20,14	19,02	135,91	18,03	105,57	18,03
5	1140	20,3	19,15	137,25	18,17	119,55	18,32

Peça	T	Umidade (%)	Dap. Seco (g/cm ³)	Dap. Queima (g/cm ³)	Retração de Queima (%)	Perda ao Fogo (%)	Absorção de Água (%)
1	1100	5,57	1,88	2,35	8,11	5,4	1,91
2	1110	5,74	1,90	2,40	8,34	5,3	0,33
3	1120	5,89	1,89	2,39	8,41	5,3	0,00
4	1130	5,89	1,89	2,31	7,44	5,2	0,00
5	1140	6,01	1,89	2,06	4,30	5,1	0,83

Apêndice H: Carga de Ruptura: Comparação entre resíduo e massa STD

Carga de Ruptura Seca				
Peça	Força (N)	Espessura (mm)	Carga de Ruptura (N)	Média (N)
STD 1	5,2	5,55	74,95	66,25
STD 2	4	5,56	57,55	
RLG 1	10	5,84	136,99	116,60
RLG 2	7	5,82	96,22	

Carga de Ruptura de Queima			
Peça	Força (N)	Espessura (mm)	Carga de Ruptura (N)
STD	61,7	5,12	964,06
RLG	53	8,26	513,32

Apêndice I: Carga de Ruptura seca: Diluições**Carga de Ruptura Seca Diluições**

Peça	Força (N)	Espessura (mm)	Carga de Ruptura (N)	Média (N)
STD 3	5,5	4,73	93,02	85,7
STD 4	4,7	4,80	78,33	
A 3	5,4	4,83	89,44	87,9
A 4	5,1	4,72	86,44	
B 3	5,0	4,74	84,39	80,0
B 4	4,5	4,76	75,63	
C 3	3,4	4,74	57,38	58,8
C 4	3,6	4,79	60,13	
D 3	4,2	5,68	59,15	59,8
D 4	4,3	5,70	60,35	

Apêndice J: Carga de Ruptura queimada: Diluições**Carga de Ruptura de Queima Diluições**

Peça	Força (N)	Espessura (mm)	Carga de Ruptura (N)	Média (N)
STD 1	83,0	5,19	1279,38	1281,7
STD 2	83,3	5,19	1284,01	
A 1	81,0	5,28	1227,27	1238,3
A 2	81,2	5,20	1249,23	
B 1	81,2	5,30	1225,66	1226,5
B 2	81,0	5,28	1227,27	
C 1	73,5	5,28	1113,64	1075,5
C 2	63,8	4,92	1037,40	
D 1	75,7	5,20	1164,62	1178,1
D 2	77,9	5,23	1191,59	

ANEXOS

Anexo A: Análise Química do Resíduo do Lavador de Gases realizada pelo Laboratório SENAI



RELATORIO DE ENSAIO Nº: 4769/12 28/09/2012 Página 1 de 1

Identificação do Cliente/Solicitante:

Nome: Cerâmica Elizabeth Sul Ltda
 Endereço: Rodovia Luiz Rosso, Km 7, s/n - Bairro: Quarta-Linha
 Cidade: Criciúma UF: SC CEP: 88.803-470

Informações da Amostra:

Identificação da Amostra: Lodo Adensado do Lavador de Gás
 Amostra: Matéria-Prima Tipo de Amostra: Rejeito
 Quantidade de Amostra: 1L Data do recebimento: 17/9/2012
 Forma da amostra: Barbotina Nº da Requisição do Serviço: Não declarado

DETERMINAÇÃO DA ANÁLISE QUÍMICA POR ESPECTROMETRIA DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X E ESPECTROMETRIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA

Ensaio Realizado Segundo: PR-CRI-097, PR-CRI-098 e PR-CRI-103

Ensaio finalizado em: 28/9/2012

Elementos	Teor (%)	Elementos	Teor (%)
Al ₂ O ₃	16,35	B ₂ O ₃	-
CaO	0,86	Li ₂ O	-
Fe ₂ O ₃	1,90	BaO	< 0,1
K ₂ O	1,99	Co ₂ O ₃	< 0,1
MgO	1,69	Cr ₂ O ₃	< 0,1
MnO	< 0,05	PbO	< 0,1
Na ₂ O	10,76	SrO	< 0,1
P ₂ O ₅	0,06	ZnO	< 0,1
SiO ₂	50,45	ZrO ₂ +HfO ₂	0,09
TiO ₂	0,35	Perda Fogo	12,96

Observações:

O somatório dos óxidos não totaliza 100%. /

Joselane Ramos da Silva
Técnico(a) LDCM

Aurea Stela Wessling Werncke
Coordenadora LDCM (CRQ 13400213)

CLÁUSULAS DE RESPONSABILIDADE: Os resultados tem significação restrita, aplicando-se tão somente à amostra ensaiada. / Não se admite qualquer responsabilidade referente à exatidão da amostragem e identificação da amostra a menos que esta tenha sido efetuada mediante supervisão do CTCmat/LDCM. Salvo menção expressa, as amostras foram selecionadas pelo solicitante. / A reprodução deste relatório só será autorizada na forma de uma reprodução integral. / O CTCmat não se torna responsável pelo uso que o solicitante, outra pessoa ou entidade venham a dar aos dados ou indicações contidos no presente relatório, em prejuízo ou benefício das marcas comerciais que o solicitante tenha podido citar como identificação das amostras submetidas ao estudo. / Os resultados que são obtidos através de cálculos matemáticos são apresentados com valores arredondados. / O cliente possui um prazo máximo de 45 dias, a partir da data de emissão do relatório, para contestar os resultados contidos neste. Somente será aceita a contestação se a quantidade da amostra entregue, quando da solicitação respeitar a quantidade mínima para cada ensaio. Após este período, a amostra será descartada.

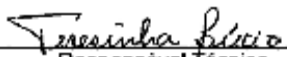
Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização de Materiais - LDCM
 SENAIsc em Criciúma - Centro de Tecnologia em Materiais
 Rua General Lauro Sodré, 300 - Bairro Comercial - Cx. Postal 3247 - CEP 88802-330 - Criciúma - SC
 Tel: (48) 3431-7100 - Fax: (48) 3433-0052 - ldc@sc.senai.br - http://www.sc.senai.br

Anexo B: Análise Química do Resíduo do Lavador de Gases realizada pelo Laboratório IPAT



Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC
 Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas – IPAT
 Laboratório de Análises de Solos, Corretivos e Fertilizantes

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 504/2012		
DADOS DO CLIENTE		
Empresa: CERÂMICA ELIZABETH SUL LTDA		
Endereço: Rodovia Luiz Rosso, s/n, Km 7, Quarta Linha – Criciúma/SC		
CEP: 88803 - 470	Telefone: (48) 3461 - 2700	
Contato: Jhon Leno		
DADOS DA AMOSTRA		
Descrição da Amostra: Lodo adensado do decantador do lavador de gases		
Data da Coleta: 15/09/2012	Data de entrada no laboratório: 17/09/2012	
Ponto de Coleta: Tanque de agitação	Coletor: Jhon Leno	
Interessado: Jhon Leno	Nº Amostra Lab.: 69683	
ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS		
Parâmetros	Resultados	Métodos Analíticos
Matéria Orgânica (MO) (% m/m)	0,8	Oxidação $c/ K_2Cr_2O_7$
Cloretos Totais (% m/m)	0,32	Titulométrico – $AgNO_3$
Sulfatos (SO_4) (% m/m)	5,94	Gravimétrico - $BaCl_2$
Sulfetos (% m/m)	ND	Volumétrico
pH ⁽¹⁾	8,0	Potenciométrico
Alumínio Total (Al) (% m/m)	1,8	Espectrofotometria de Absorção Atômica – Chama
Cálcio Total (Ca) (% m/m)	0,19	
Ferro Total (Fe) (% m/m)	0,61	
Magnésio Total (Mg) (% m/m)	0,60	
Manganês (Mn) (% m/m)	0,02	
Umidade a 65°C (% m/m)	88,05	Gravimétrico
Observações:		
- A digestão da amostra para determinação dos metais foi baseado no Método SW 846 -3050.		
- Resultados expressos na base seca a 65°C, com exceção do pH.		
- ⁽¹⁾ Ensaio realizado na amostra "in natura".		
- ND: Não Detectado.		
- % m/m: Porcentagem mássica.		

Criciúma, 19 de outubro de 2012.		
 Responsável Técnico Química Teresinha Lúcio - CRQ 13200109		
Os resultados apresentados no presente relatório se aplicam somente à amostra ensaiada.		

Anexo C: Análise Química do Resíduo do Esquadrejamento



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 921/11 02/03/2011 Página 1 de 1

Identificação do Cliente/Solicitante:

Nome: Cerâmica Elizabeth Sul Ltda
 Endereço: Rodovia Luiz Rosso, Km 7, s/n - Bairro: Quarta-Linha
 Cidade: Criciúma UF: SC CEP: 88.803-470

Informações da Amostra:

Identificação da Amostra: Lodo
 Amostra: Matéria-Prima Tipo de Amostra: Não declarado
 Quantidade de Amostra: 100g Data do recebimento: 16/2/2011
 Forma da amostra: In Natura Nº da Requisição do Serviço: Não declarado

**DETERMINAÇÃO DA ANÁLISE QUÍMICA POR ESPECTROMETRIA DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X
 E ESPECTROMETRIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA**

Ensaio Realizado Segundo: PR-CRI-097, PR-CRI-098 e PR-CRI-103

Ensaio finalizado em: 2/3/2011

Elementos	Teor (%)	Elementos	Teor (%)
Al ₂ O ₃	18,73	B ₂ O ₃	-
CaO	2,88	Li ₂ O	-
Fe ₂ O ₃	1,82	BaO	0,35
K ₂ O	2,38	Co ₂ O ₃	< 0,1
MgO	1,86	Cr ₂ O ₃	< 0,1
MnO	0,08	PbO	N.D.
Na ₂ O	2,06	SrO	< 0,1
P ₂ O ₅	0,09	ZnO	0,76
SiO ₂	64,01	ZrO ₂ +HfO ₂	1,22
TiO ₂	0,20	Perda Fogo	3,46

 Joselane Ramos da Silva
 Técnico(a) LDCM

 Aurea Stela Wessling Werncke
 Coordenadora LDCM (CRQ 13400213)

CLÁUSULAS DE RESPONSABILIDADE: Os resultados tem significação restrita, aplicando-se tão somente à amostra ensaiada. / Não se admite qualquer responsabilidade referente à exatidão da amostragem e identificação da amostra a menos que esta tenha sido efetuada mediante supervisão do CTCmat/LDCM. Salvo menção expressa, as amostras foram selecionadas pelo solicitante. / A reprodução deste relatório só será autorizada na forma de uma reprodução integral. / O CTCmat não se torna responsável pelo uso que o solicitante, outra pessoa ou entidade venham a dar aos dados ou indicações contidos no presente relatório, em prejuízo ou benefício das marcas comerciais que o solicitante tenha podido citar como identificação das amostras submetidas ao estudo. / Os resultados que são obtidos através de cálculos matemáticos são apresentados com valores arredondados.

 Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização de Materiais - LDCM
 SENAIsc em Criciúma - Centro de Tecnologia em Materiais
 Rua General Lauro Sodré, 300 - Bairro Comercial - Cx. Postal 3247 - CEP 88802-330 - Criciúma - SC
 Tel.: (48) 3431-7100 - Fax: (48) 3433 0052 - ldcmm@sc.senai.br - http://www.sc.senai.br

Anexo D: Análise Química do Coque Verde de Petróleo

CERTIFICADO DE ENSAIO

Produto: COQ VERDE PET - OUTROS		Código: 98X		
Local de Amostragem: UP PILHA COQ		Laboratório: REFAP/DC/DP		
Data/ hora Amostragem: 30/03/11 13:00		Endereço: Av. Getúlio Vargas, 11001		
Data/ hora Recebimento: 30/03/11 13:30		92420-221 Canoas - RS		
		Telefone:(51)3415-2243		Fax: (51)3415-2246
Característica	Método	Especificação	Resultado	Unidade
UMIDADE	D 5142	Anotar	9,2	% massa
MATERIA VOLATIL	D 5142	15,0 max	11,58	% massa
CINZAS	D 5142	0,50 max	0,11	% massa
ENXOFRE TOTAL	D 4239	1,0 max	0,78	% massa
CARBONO FIXO CALCULADO	D 5142	84 min	88,3	% massa
PODER CALORIFICO SUPERIOR	D 5865	8400 min	8610	cal/g
Notas:				
- Pilha 3A. O resultado de umidade é relativo a média dos resultados de umidade das amostras analisadas no período de 14/03/2011 à 30/03/2011				

Cerâmica Elizabeth Sul
Severino Bezerra

Data de Emissão: 01/04/2011 16:11:08	Página: 1 de 1
Os resultados deste Certificado de Ensaio referem-se à amostra acima especificada.	
Este certificado só pode ser reproduzido integralmente com a autorização do responsável pelo seu conteúdo.	

Original Assinado Por:
Responsável:
Eng. Processamento Luiz Carlos Hoff
CRQ: 5º Região 05301033