



**Tecnologia em Cerâmica, Química, Plástico,
Borracha e Curso Superior de Tecnologia Ambiental.**

**Adição de rejeitos de marmorarias e pó de ardósia no
vidrado.**

**Rafaela Pereira de Brito
Lilian Gonçalves Siqueira
Cristiana de Souza**

**Orientador: Ricardo Minoru Gibo
Coorientadores: Natalia Oliveira Morguato
Elton Goulart da Silva**

São Bernardo do Campo
2009



Escola SENAI Mario Amato

**Tecnologia em Cerâmica, Química, Plástico,
Borracha e Curso Superior de Tecnologia Ambiental.**

Adição de rejeitos de marmorarias e pó de ardósia no vidrado

**Rafaela Pereira de Brito
Lilian Gonçalves Siqueira
Cristiana de Souza**

Trabalho apresentado na disciplina de projetos, do
Curso Técnico em Cerâmica, na Escola SENAI
Mario Amato, com requisito parcial para obtenção
do título de Técnico em Cerâmica.

São Bernardo do Campo
2009

AGRADECIMENTOS

A todos que colaboraram e, direta ou indiretamente, nos fortaleceram com palavras e ações.

Nosso agradecimento especial à Professora Mônica, que nos guiou desde os primeiros momentos com suas experiências, generosidade, dedicação, amizade e sugestão do tema de pesquisa.

Ao Prof. Ricardo Minoru, pela sugestão do tema de pesquisa, pelo incentivo, distribuição do conhecimento e orientação na elaboração do projeto.

À Professora Natália, pelo apoio, paciência e dedicação durante a pesquisa.

Ao querido funcionário e amigo Carlos, que sempre nos ajudou.

À Escola SENAI Mario Amato – Núcleo de Tecnologia Cerâmica, pelo suporte e disposição dos laboratórios e equipamentos para realização deste projeto.

A todos os professores que nos auxiliaram.

À artista plástica Laila Kierulff, pela apresentação e doação das amostras de ardósia e, principalmente, pela amizade construída ao longo deste projeto.

Ao engenheiro Wanderson Marinho, pelo interesse, informações técnicas e fornecimento dos dados dos rejeitos.

Aos nossos pais, responsáveis pelo nosso caminho.

À nossa família, pelo estímulo, apoio e amor.

A todos os nossos amigos, que nos motivaram cotidianamente, os que já estavam em nossas vidas e os que conquistamos nesse curso.

RESUMO

Na atualidade, o apelo ambiental é um fato que impõe às indústrias um comportamento de renovação de seu modo de produção e ação. Um bom produto vem acompanhado do compromisso do desenvolvimento responsável, com critérios estabelecidos para a preservação do meio ambiente. Nesse contexto, estudos propõem alternativas capazes de fornecer soluções para esse novo comportamento das indústrias, inclusive de modo a permitir redução dos custos de produtos e serviços. Visando a contribuir para a preservação ambiental no segmento cerâmico, esta pesquisa apresenta os estudos da aplicação dos resíduos de pó de ardósia e pó de marmorarias no vidro. Com o grande consumo de rochas ornamentais na construção civil, que ocasiona elevada quantidade de resíduos, a urgência de novos métodos de pesquisa para o seu aproveitamento tende a se acelerar, em função dos riscos naturais e sociais do descarte desses materiais. O emprego dos resíduos da ardósia e da marmoraria na superfície cerâmica resultou em desempenho estético e físico satisfatórios, tanto em formulações compostas por mais matérias primas ou nas que utilizam somente o caulim e o CMC para manter a suspensão e a aderência à peça. Sua capacidade de fundência possibilita a substituição do feldspato, adaptando as necessidades do produto em uso pelas limitações das cores apresentadas após a queima. Este estudo foi originalmente desenvolvido para produção em menor escala, como ateliês e oficinas, mas poderá ser utilizado em escala industrial, sem que seja ignorada a idéia essencial da preservação ambiental.

Palavras-chave: vidrados, rejeitos, estética.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Cidades de Minas Gerais geradoras do rejeito de ardósia.....	16
Figura 2 Cone de fusibilidade do rejeito de marmoraria queimado a 1250° C	17
Figura 3 Análise Térmica Diferencial do Rejeito de Ardósia.....	19
Figura 4 Análise de raios-x do rejeito de ardósia.....	21
Figura 5 Análise Térmica Diferencial do Rejeito de Marmoraria.....	23
Figura 6 - Análise de raios-x do rejeito de marmoraria.....	24
Figura 7 Corpo de prova recoberto com 95% de rejeito de ardósia e micrografia do rejeito de ardósia	30
Figura 8 Corpo de prova recoberto com 95% de ardósia a 1250° C e micrografia comprovando a ausência de cristais.....	30
Figura 9 Análise do padrão Tabela 4 e os corpos de prova com a adição dos rejeitos.....	33
Figura 10 1BRA2 sem óxido de Ferro e adição parcial do rejeito de ardósia....	34
Figura 11 1BRM1 sem óxido de Ferro e adição total do rejeito de marmoraria.....	34
Figura 12 Análise do padrão Tabela 5 e os corpos de prova com a adição dos rejeitos.....	36
Figura 13 Corpo de prova Tabela V 2C.....	37
Figura 14 Tabela V 2CRM1 adição total do rejeito de marmoraria.....	37
Figura 15 V2 RM2 adição parcial de rejeito de marmoraria.....	37
Figura 16 3ARM1 adição total de rejeito de marmoraria.....	39
Figura 17 Análise do padrão Tabela 6 V3 e os corpos de prova com a adição dos rejeitos.....	39

Figura 18 Análise do padrão Tabela 6 3A e os modelos dos corpos de prova com a adição dos rejeitos 3ARA1 E 3ARM1.....41

Figura 19 Análise do padrão Tabela 6 3B e os modelos dos corpos de prova com a adição dos rejeitos 3BRA1 E 3BRM142

Figura 20 Formulação com 94,5% rejeito, 5% do caulim e 0,5% CMC.....43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Análises químicas dos rejeitos e feldspato para comparação.....	18
Tabela 2 – Fases relacionadas na difração de raios-x do rejeito de ardósia.....	20
Tabela 3 – Massa de faiança feldspática.....	28
Tabela 4 – Vidrados com efeito cristalino.....	31
Tabela 5 – Vidrados com efeito metalizado.....	35
Tabela 6 – Vidrados com efeito mate manchado.....	38

SUMÁRIO

1. Introdução.....	9
2. Objetivo.....	10
2.1. Objetivos gerais.....	10
2.2. Objetivos específicos.....	10
3. Resumo histórico dos vidrados.....	11
3.1. Função dos vidrados.....	14
4. Fontes.....	15
4.1. Rejeito de Ardósia.....	15
4.2. Rejeito de Marmorarias.....	16
5. Materiais e métodos.....	18
5.1. Caracterização da ardósia.....	18
5.1.1. Análise de ATD do rejeito de ardósia.....	19
5.1.2. Análise de difração de raios-x do rejeito de ardósia.....	21
5.2. Caracterização do rejeito de marmoraria.....	22
5.2.1. Análise de ATD do rejeito de marmoraria.....	22
5.2.2. Análise de difração de Raio X do rejeito de marmoraria.....	23
6. Fluxograma das etapas do processo.....	25
7. Parte Experimental.....	26
7.1. Matérias-Primas utilizadas.....	26
7.2. Equipamentos utilizados.....	26
7.3. Características do Processo Artesanal e Artístico.....	27
7.4. Desenvolvimento dos Vidrados.....	28
8. Resultados e discussões.....	29
9. Conclusão.....	43
Bibliografia	45

1. INTRODUÇÃO

Matérias-primas para o uso cerâmico são facilmente encontradas no varejo. A maneira como são desenvolvidas exige um beneficiamento químico que, ao final do processo, gera o descarte de materiais e estes, em princípio, não são utilizáveis.

A iniciativa de introduzir essas matérias-primas descartadas no processo produtivo, obviamente, requer gastos com pesquisas e experimentos. Contudo, em vista dos custos iniciais para tal propósito, os agentes da produção preferem continuar utilizando-se dos métodos convencionais, especialmente no que diz respeito à extração mineral, o que atrasa a inserção de alternativas renováveis relevantes nesse processo. A busca de alternativas produtivas que contribuam para a preservação do meio ambiente, a par da redução dos custos respectivos, fez surgir a idéia da incorporação de rejeitos.

A introdução de rejeitos de rochas ornamentais no setor cerâmico representa uma dessas importantes alternativas: esse material é obtido como descarte em jazidas ou no varejo de rochas ornamentais, após o seu corte ou acabamento. Depois de inserido no processo de fabricação do produto, resulta em melhora significativa de sua qualidade, haja vista que o pó descartado possui uma granulometria muito fina, necessitando apenas do peneiramento.

Este projeto tem como objetivo desenvolver um vidrado com efeito visual cristalino, metalizado e mate para decoração de objetos de adorno, considerando os aspectos intrínsecos desses produtos, como coloração e efeitos, em substituição ao uso do feldspato. O que se pretende é testar a possibilidade de uso de outros materiais, pois, mesmo em face das propriedades e das características do feldspato nos vidrados, fundamentais para uma boa qualidade do produto final, os rejeitos de ardósia e marmoraria revelaram-se não menos satisfatórios, consideradas as capacidades de fundência, estética e econômica.

Como resultado, a introdução dos vidrados alternativos, que tem como maiores interessados ateliês e oficinas. Tal produto pode ser perfeitamente utilizado na indústria do setor cerâmico, pelas evidentes vantagens técnicas e financeiras.

2. OBJETIVO

2.1. Objetivo geral

Este projeto tem como objetivo central desenvolver um vidrado alternativo, em que o feldspato é substituído por rejeitos como o pó de ardósia e pó de rochas de marmoraria, visando reduzir custos e auxiliar na diminuição do depósito de rejeitos no meio ambiente.

2.2. Objetivos específicos

- Explorar as propriedades e características dos rejeitos substituídos nas formulações de vidrados
- Avaliar a fundência do material, sua coloração e efeitos.
- Introduzir os vidrados alternativos para utilização pela indústria do setor cerâmico, em vista de suas vantagens técnicas e financeiras

3. RESUMO HISTÓRICO DO VIDRADO

Os primeiros registros históricos dos vidrados em cerâmica ocorrem a partir de 5000 a.C., sendo os egípcios pioneiros nessa atividade, ao utilizarem compostos de sódio, encontrados em grandes quantidades nas áreas desérticas do Oriente Médio. As contas de turquesa, ornamentos e pequenas esculturas de pasta egípcia são, provavelmente, os primeiros objetos de vidro que foram obtidos pela mistura da argila com sais de sódio solúveis depositados na superfície durante a secagem, e que formavam o esmalte quando cozido.

Ao adicionar minerais aos esmaltes de cobre, obtêm-se o azul e o turquesa, cores belas e vibrantes. Um refinamento adicional da pasta egípcia tornou possível a aplicação dos materiais do esmalte sobre a superfície da cerâmica, e, assim, o controle da espessura e da cor do produto. Todavia, os esmaltes egípcios revelam desvantagens, pois, além de altamente alcalinos, são de difícil emprego, já que tendem a gretar e lascrar a cerâmica após a queima.

As técnicas de produção e utilização de diversos materiais possibilitaram o aparecimento de diferentes tipos de vidrados em cerâmica, nas mais diversas regiões. Nas regiões do Império Omíada (atual Síria) e do Império Babilônico (atual Iraque), a adição do chumbo representou um importante avanço para a confecção dos vidrados em cerâmica. Os sírios e babilônios aprenderam a fazer esmaltes cor de chumbo, misturando óxido de cobre, ferro e manganês.

A propagação da vitrificação para a China, por volta do ano 500 a.C., resultou em novo avanço tecnológico, mediante o aperfeiçoamento da queima, especialmente pela elevação das temperaturas de cozimento. Essa inovação pôs fim ao gretamento das cerâmicas e permitiu que os vidrados tivessem a estabilidade que lhes permitiu longa duração.

Por muitos séculos, os gregos continuaram a produzir as melhores peças de cerâmica do Mundo Mediterrâneo, sendo famosa a cerâmica de Atenas e Samos,

cujos pratos e taças de delicado acabamento se caracterizavam por terem o fundo negro ou azul e desenhos escarlates. Ressalte-se que os gregos, embora dominados, se destacaram também na ourivesaria, na pintura e em outros ramos de arte e acabaram por impor sua cultura aos rudes conquistadores latinos.

Destaque também para o artesanato italiano, representado pelos etruscos, que, em meados do segundo milênio antes de Cristo já fabricavam vasos esmaltados de grande qualidade, mais parecidos com objetos de arte que utensílios de uso cotidiano.

Na Pérsia, a arte dos Sumérios e Babilônios continuava a produzir ânforas, bacias, taças esculpidas e pintadas e azulejos destinados ao revestimento de fachadas e vestíbulos. Essa cerâmica e sua técnica de fabricação se difundiram para a Sicília, Espanha e Ásia Menor.

Esse tipo de cerâmica é denominado Maiólica, nome que deriva de uma ilha do arquipélago das Baleares (hoje Majorca), onde os árabes haviam implantado uma indústria bastante florescente. De superfície lisa e vidrada, essa cerâmica foi muito usada na Itália, especialmente no período do Renascimento.

O trabalho na Itália, cuja base era os velhos sistemas etruscos e gregos, prosseguiu durante a Idade Média e se estendeu pelo Renascimento, época em que cidades como Gubbio, Volterra, Faenza, Deruto e Montelupo desenvolveram indústrias, com estilo e técnica própria. A escola de Faenza ganhou tanta celebridade que deu seu nome a todos os objetos de cerâmica que, da Itália, se difundiam pela Europa. Daí o nome faiança em português, e o faience.

As cerâmicas de Faenza e a Maiólica são muito parecidas, sendo muito difícil distinguir uma da outra. Atualmente, é denominada de faenza toda a cerâmica que pode entrar nesta classificação, devido às técnicas utilizadas, e, de Maiólica, curiosamente, somente as faenzas italianas.

A porcelana chinesa só se difundiu na Europa após o século XVIII. São famosas as fábricas de Sèvres, na França; de Karlsruhe, na Alemanha e de Capodimonte, na Itália. Em Sèvres e em Capodimonte, especialmente, são fabricadas as graciosas e

delicadas estatuetas cujo valor artístico reside na perfeição do acabamento ou na raridade do desenho.

No continente americano também se encontra a produção de cerâmica, com destaque para a Cerâmica Pré-Colombiana, representada por vasos esmaltados ou pintados, similares aos produzidos na Grécia e Oriente. No México, os maias, os astecas e os toltecas produziram grande quantidade de ânforas, finamente esculpidas e pintadas. No Peru os incas, ou mesmo os povos que os precederam no domínio do país, deram vida a um artesanato excepcionalmente hábil e rico em personalidade.

No Brasil, o mais antigo centro de cerâmica encontrava-se na ilha de Marajó, onde foi criado um estilo próprio: o marajoara, com peças altamente elaboradas, cuja especialização artesanal compreendia várias técnicas, como raspagem, incisão, excisão, engobo e pintura. A modelagem era tipicamente antropomorfa, embora ocorressem exemplares de cobras e lagartos em relevo. De outros objetos de cerâmica, destacavam-se os bancos, estatuetas, rodela-de-fuso, tangas, colheres, adornos audiculares e labiais, apitos e vasos miniatura.

Atualmente, a cerâmica, para uso comum ou artístico, é produzida em grandes estabelecimentos ou por pequenos artesãos. Os sistemas são fundamentalmente os mesmos, mas a especialização da técnica permite resultados extraordinários: as peças artísticas, envernizadas e cozidas até vinte vezes, apresentam superfícies reluzentes, com tonalidades de ouro e esmeralda, imitando o brilho do bronze e a transparência da água, aumentando a procura por vasos, pratos e estatuetas.

Desde os primórdios, quando era utilizado o calor do sol, até o emprego das técnicas atuais, que tornam as peças mais firmes, a cerâmica ganhou novas utilidades e se tornou acessível a todas as classes sociais, como bem o demonstra o uso do azulejo, no Brasil, que se revelou um excelente revestimento para nosso clima ou a sua incorporação pela arquitetura, como parte de um novo conceito no qual se destacam nomes como Portinari e Oscar Niemeyer.

3.1. Função do Vidrado

Segundo a Professora Leia Santos (2002), os vidrados cerâmicos são finas misturas de silicato, geralmente homogêneas aplicadas sobre a superfície de peças cerâmicas ou de metais. Em temperaturas adequadas de queima, os componentes adquirem o estado de fusão ou fusão e recristalização, conforme o programa de resfriamento. A natureza química e física os classifica como vidros. O seu ponto de fusão deve ser menor que o da peça cerâmica onde está aplicado.

A presença do vidrado é fundamental em alguns setores do segmento cerâmico. Uma delas é a fabricação de louças domésticas, em que a cobertura vítrea sobre o corpo cerâmico fornece o desempenho higiênico, selando os poros da peça e contribuindo na estética do produto final. A ausência desse material compromete a utilização da cerâmica, pois a peça é porosa e, com o decorrer do tempo, os alimentos depositados em suas arestas produzem fungos e bactérias, possibilitando possíveis doenças em quem as utiliza.

Assim como a produção de louça doméstica, a louça sanitária segue os mesmos padrões de rigor no desenvolvimento do produto, devendo a cobertura vítrea da peça ser total, para não ocorrer a absorção de materiais, propiciando sua limpeza.

A indústria de revestimento cerâmico também utiliza o recurso do vidrado. A superfície vítrea sobre as placas proporciona benefícios aos ambientes onde são fixados, como higienização, proteção contra vazamentos, absorção da umidade nas paredes e assoalho, conforto visual e tátil. Os espaços mais utilizados são hospitalares, cozinhas, banheiros e áreas externas.

4. FONTES

4.1. Rejeitos de ardósia

Para Oliveira (2001), a maior parte do rejeito da ardósia, em volumes significativos, tem como a cidade de Papagaios/MG o maior produtor no Estado de Minas Gerais e gera cerca de 1200 m³ / mês e 14400 m³ ao ano. O beneficiamento da ardósia é feito próximo ao local de extração e seus principais produtos são ladrilhos para revestimento e piso, tampos de mesa, pias, mobiliários e lousas. Seu beneficiamento - esquadreamento, o acabamento de superfícies, a calibração de espessuras, cortes curvos e perfurações - é feito próximo ao local de extração.

Esse processo de beneficiamento gera uma quantidade elevada de descarte, na forma de pequenos pedaços de rochas e de lama, que é produzida durante o processo de corte e polimento e é retirada diretamente dos poços de decantação. Essa lama será utilizada nesse trabalho, uma vez que, durante o beneficiamento está em formato de pó, facilitando o processo proposto nesse estudo. No entanto, deve ser ressaltado que há recursos que transformam os cacos em pó, que não serão aplicados aqui.

O rejeito referido é descartado em pilhas de bota fora nas proximidades da pedreira e seu maior impacto é o visual, pois descaracteriza a paisagem local. Seu impacto ambiental é relativamente pequeno, pois o material é inerte e absorve a água da chuva. A lama é depositada em lagoas de decantação e em aterros ou sobre pilhas de “bota-fora” (SHWABE e HELLER, 1996).

Na figura seguinte são mostradas as cidades de Minas Gerais geradoras do rejeito de ardósia.

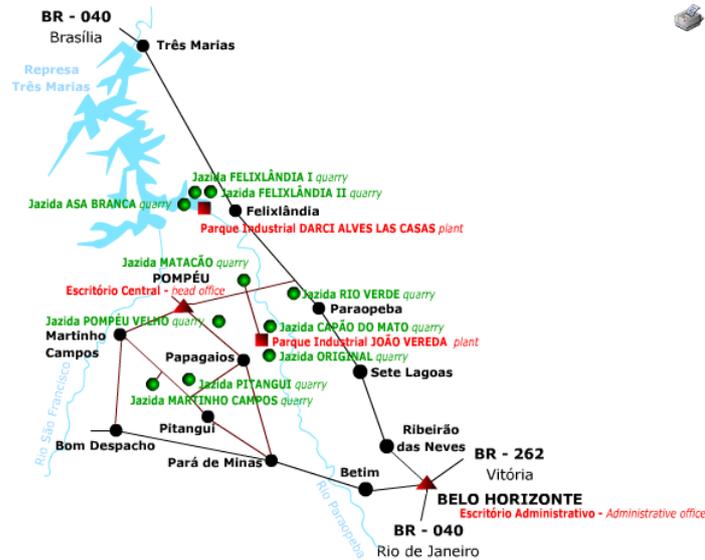


Figura 1 – Cidades de MG geradoras do rejeito de ardósia

O único custo para obter o rejeito de ardósia é o transporte de carregamento das jazidas para o local onde será reaproveitado. Todavia, merece ser destacado que uma parcela do descarte do pó de ardósia já tem sido aproveitada em processos produtivos relevantes e socialmente positivos, em uso a cru e queimado, a saber:

- Como agregado para a construção civil, em calçamentos diversos e em argamassas e concretos;
- Na aplicação para a carga de asfalto;
- Em produtos de cerâmicas vermelha;
- Na pavimentação de vias sob a forma de brita;
- Como corretivo de solo.

4.2. Rejeitos de marmoraria

O rejeito utilizado vem de Belo Horizonte, de lojas do varejo, que fazem os acabamentos e, na maioria dos casos, não tem destino adequado. Algumas soluções estão sendo lançadas no mercado para o aproveitamento desse material,

como a utilização em projetos paisagísticos, a introdução no vidro e como agregado para concreto de cimento Portland.

O Brasil é um grande produtor mundial de rochas ornamentais, e também de resíduos gerados na extração e corte dos blocos, especialmente de granitos e mármore. Na serragem, 25% a 30% da pedra são transformados em pó. A quantidade desse resíduo no país é estimada em 800 mil toneladas por ano, sendo que Espírito Santo, Bahia, Ceará e Paraíba estão entre os estados que mais oferecem rochas ao mercado, e os que mais geram o pó de serragem e sentem seu impacto ambiental.

Acúmulo gerado pelo resíduo de rochas:

- 600 toneladas mensais de todo o rejeito;
- 150 toneladas mensais e 1800 toneladas ao ano do pó.

As rochas ornamentais destacam-se tanto a nível nacional como internacional devido as suas inúmeras possibilidades de usos e aplicações, além de apresentarem características como durabilidade, baixo custo de manutenção, e dos efeitos estéticos proporcionados. Constituem assim, uma ótima opção de revestimento para pisos e paredes, correspondendo a cerca de 70% da produção mundial destinada para esse tipo de aplicação (Montani, 2003).

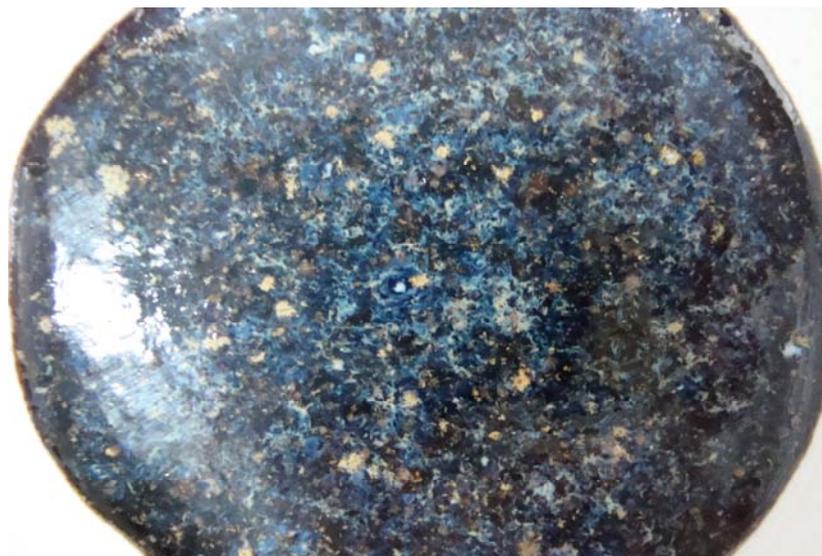


Figura 2 – Cone de fusibilidade do rejeito de marmoraria queimado a 1250° C.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

Foi realizado o ensaio de análise química dos rejeitos de ardósia e do feldspato, para melhor comparação e substituição dos mesmos:

Análises Químicas dos Rejeitos Análise Química do Feldspato para Comparação

Tabela 1

	ARDÓSIA	FELDSPATO	ROCHAS
ENSAIOS	RESULTADOS(%)		
Perda ao fogo	4,54	2,19	9,13
SiO ₂	61,75	68,63	65,02
Al ₂ O ₃	15,88	19,18	22,05
Fe ₂ O ₃	6,18	0,41	0,33
TiO ₂	0,84	0,06	0,1
CaO	1,8	1,56	0,13
MgO	2,97	0,30	0,16
Na ₂ O	1,6	6,18	1,66
K ₂ O	3,31	1,63	1,36
MnO	<0,001	0,01	<0,001
P ₂ O ₅	0,16	0,01	0,07

5.1. Caracterização da ardósia

As ardósias são rochas metamórficas de baixo grau que derivam de sedimentos pelíticos. Tipicamente elas contêm clorita e muscovita, com porções variáveis de quartzo, albita e acessórios, como a piritita (YARDLEY, 1988). De acordo com CHIODI FILHO; SAD E CHIODI (1998), as ardósias em geral, apresentam como constituintes

principais: mica branca (30 a 40%), quartzo (30 a 45%), clorita verde claro (10 a 20%) e grafita opaca (como pó fino ou formando lenticulas). Quantidades variáveis, em geral acessórias, de carbonato, turmalina, titanita, rutilo, feldspato, óxidos de ferro e pirita podem ocorrer.

A seguir, estão os resultados da análise de ATD e difração de Raio X dos rejeitos:

5.1.1. Análise de ATD do rejeito de ardósia

A ardósia apresentou um pico endotérmico aproximadamente a 800° C, características do carbonato de magnésio para óxido de magnésio.

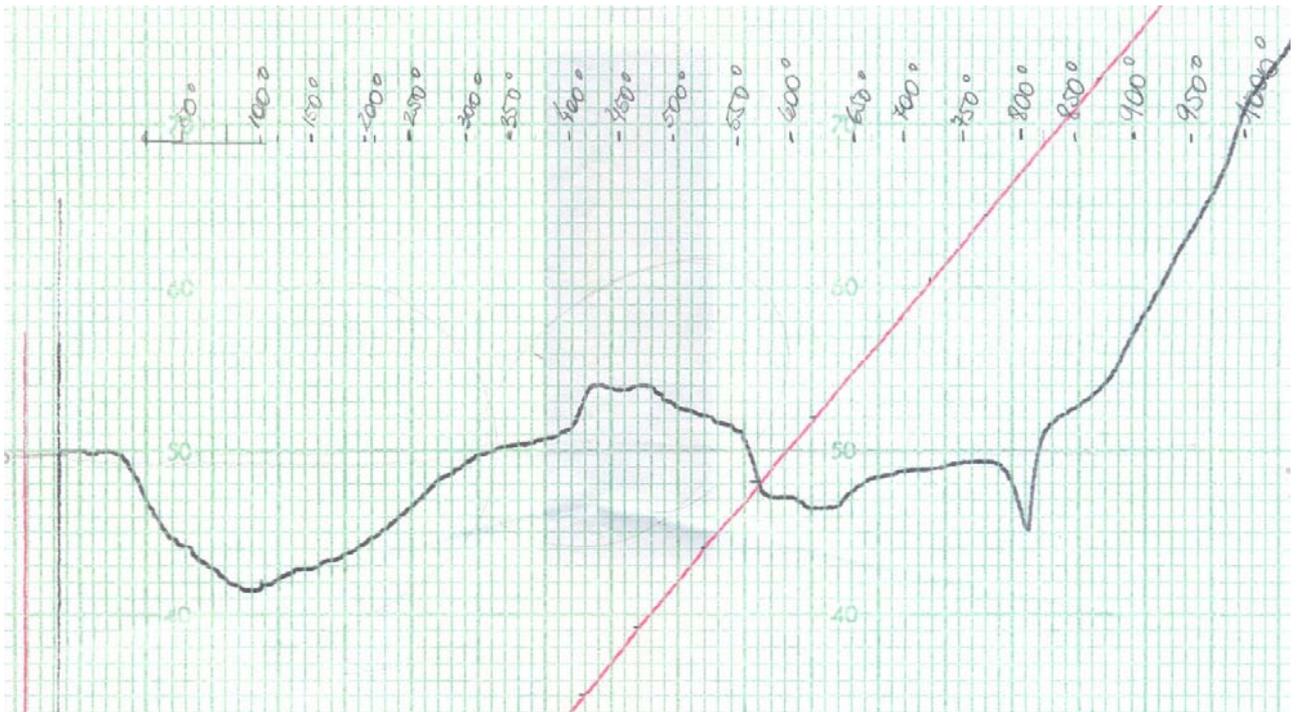


Figura 3 – Análise Térmica Diferencial do Rejeito de Ardósia

5.1.2. Análise de difração de Raio X do rejeito de ardósia

Através da análise de Raios-X é possível comparar a ardósia com o rejeito de marmoraria, de forma a apresentar maior grau de pureza da ardósia e classificar suas fases.

A seguir, apresentamos a tabela das fases relacionadas na difração de Raios-X do rejeito de ardósia:

Tabela 2

FASES	FÓRMULA QUÍMICA
QUARTZO	Si O ₂
CLINOCORO - 1MIIb, manganoan	Mg ₃ Mn ₂ Al Si ₃ Al O ₁₀ (OH) ₈
ILITA – 2M1 (NR)	(K, H ₃ O) Al ₂ Si ₃ Al O ₁₀ (OH) 2
COVELITA	Cu S
ALBITA, ordenados	Na Al Si ₃ O ₈

Na figura seguinte, podem ser observados os resultados da análise de Raios-X do rejeito de ardósia.

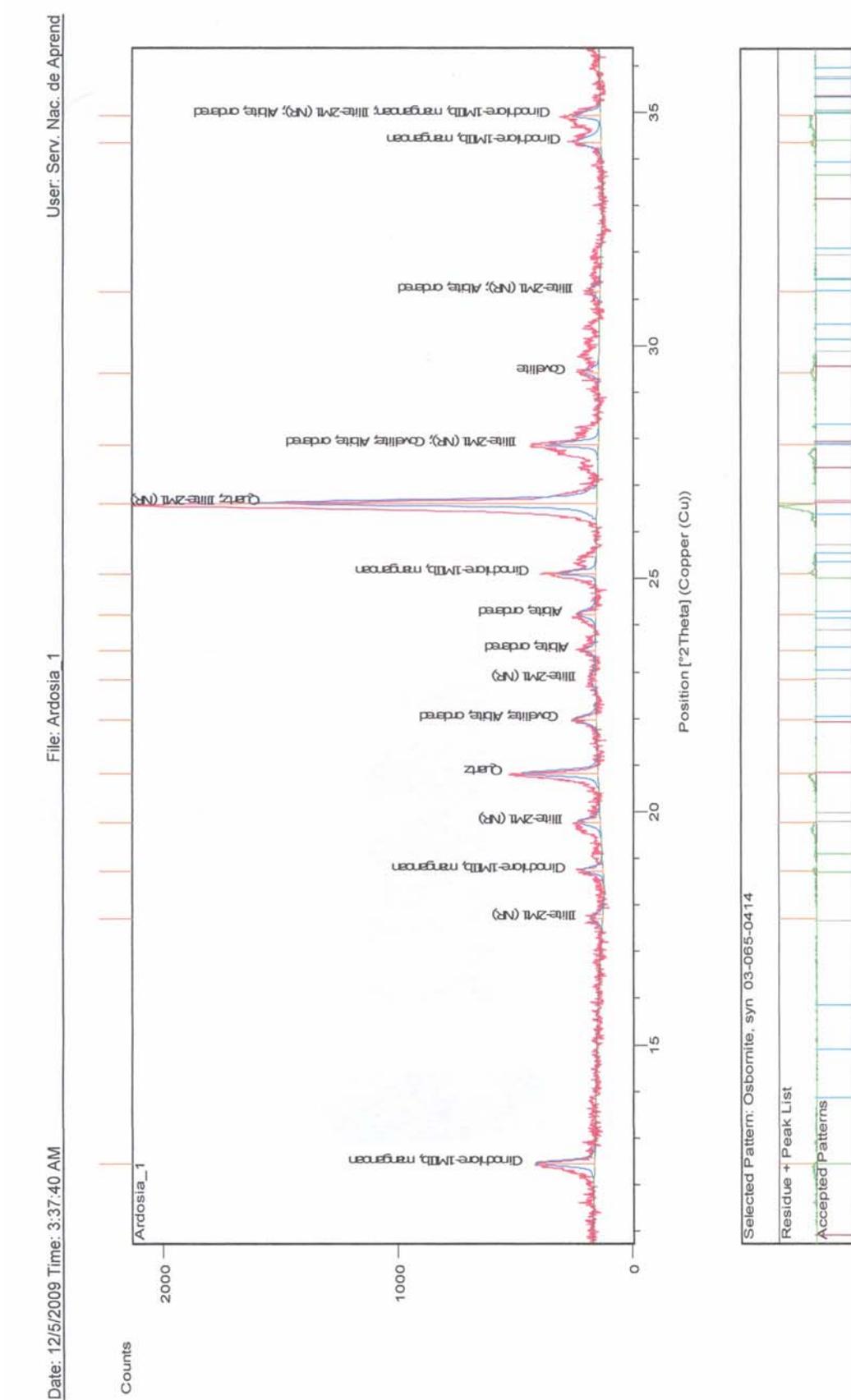


Figura 4 – Análise Raios-X do rejeito de ardósia.

5.2. Caracterização do rejeito de marmoraria

Os rejeitos de marmorarias são um composto de várias rochas, que depende dos materiais que foram beneficiados nas lojas de marmorarias, que podem conter rochas ígnea, vulcânica, metamórfica e sedimentar.

Dependendo das rochas que foram mais fornecidas no varejo, as matérias primas existentes nesses produtos, variam conforme sua circulação, comprometendo os elementos contidos e assim não possui uma fidelidade no vidro. Por essa razão, a caracterização desse material deve ser feita após cada coleta, para o destino de objetos de adornos, são suficientes os testes após a queima verificando o acordo do vidro e da massa, que apresentam as características necessárias para ter um bom resultado.

5.2.1. Análise de ATD do rejeito de marmoraria

A análise de ATD do rejeito de marmoraria apresentou dois picos endotérmicos característicos de dolomita a 750° C e a mudança do carbonato de magnésio para óxido de magnésio e o segundo próximo a 950° C, igualmente ao primeiro.

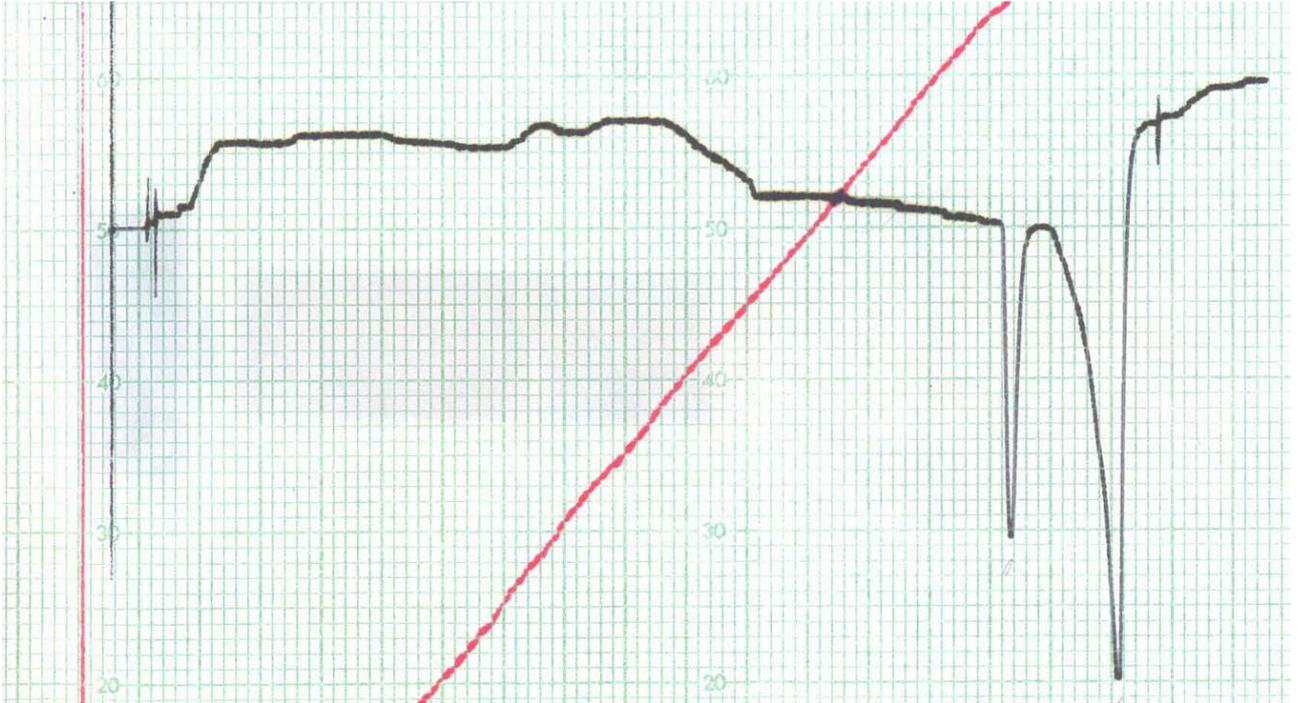


Figura 5 - Análise Térmica Diferencial do Rejeito de Marmoraria

5.2.2. Análise de difração de Raio X do rejeito de marmoraria

Na análise de difração de Raio X é demonstrada a quantidade de fases em função do número de rochas que foram beneficiadas que estão no rejeito, como se percebe na análise da figura a seguir:

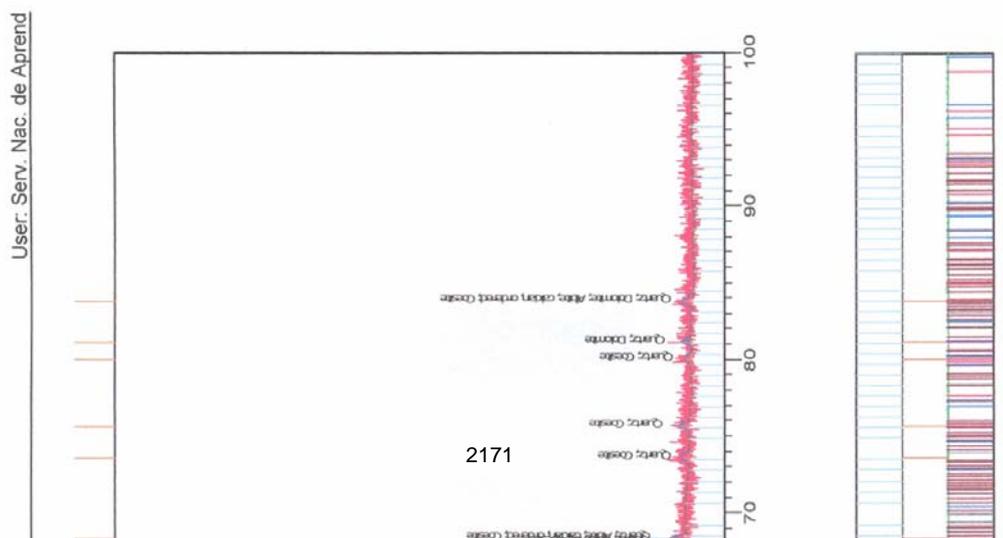
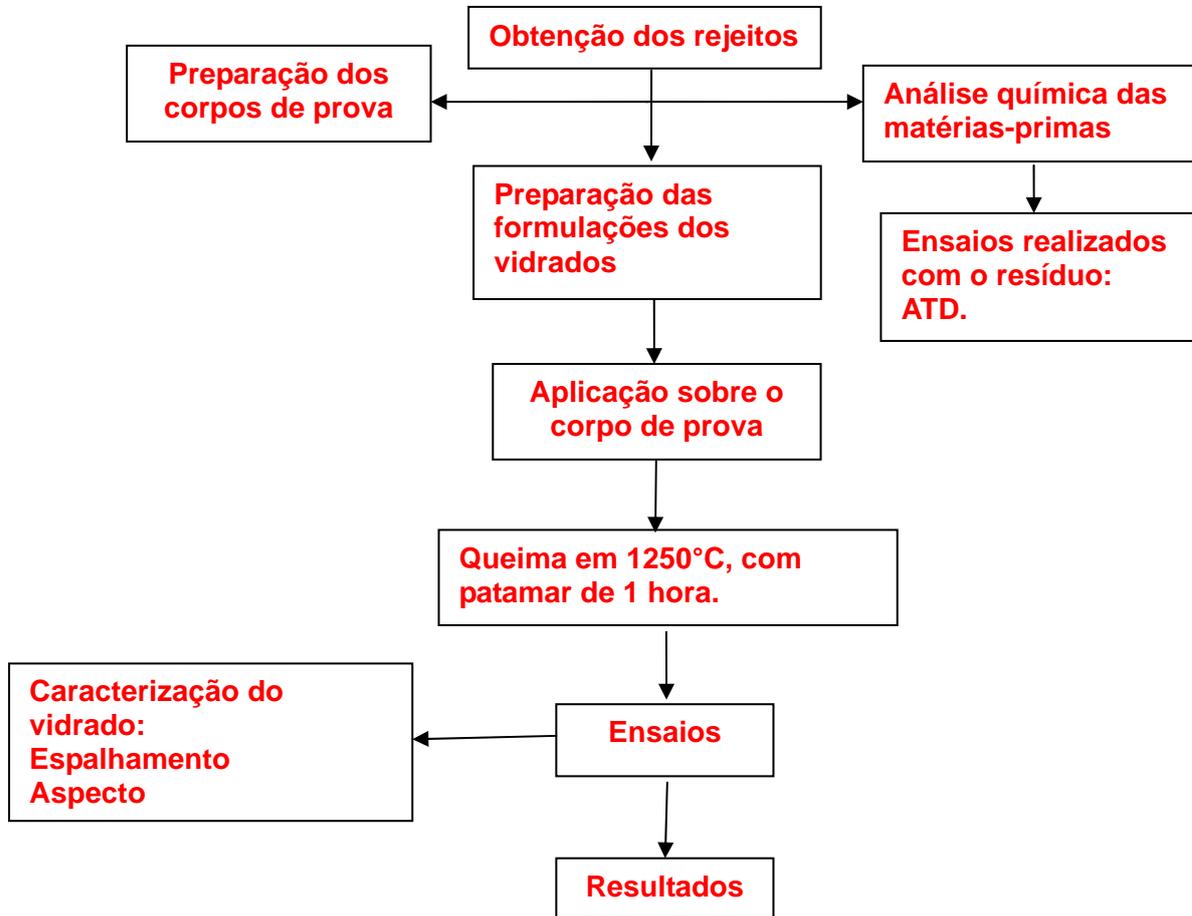


Figura 6 - Analise Raios-X do rejeito de marmoraria

6. FLUXOGRAMA DAS ETAPAS DO PROCESSO



O diagrama acima apresenta, de forma esquemática, os procedimentos adotados no processo de preparação dos rejeitos de ardósia e marmoraria para a análise e comparação com o feldspato, na produção do vidrado.

7. PARTE EXPERIMENTAL

7.1. Matérias Primas

utilizadas:

- ✓ Argila São Simão
- ✓ Bissilicato Chumbo
- ✓ Calcita
- ✓ Carbonato de Bário
- ✓ Caulim
- ✓ CMC
- ✓ Corante Amarelo
- ✓ Dolomita
- ✓ Feldspato Potássico
- ✓ Oxido de Cobre
- ✓ Oxido de Estanho
- ✓ Oxido de Ferro
- ✓ Oxido de Manganês
- ✓ Oxido de Níquel
- ✓ Oxido de Titânio
- ✓ Oxido de Zinco
- ✓ Quartzo
- ✓ Rejeito e ardósia
- ✓ Rejeito de marmoraria
- ✓ Talco

7.2. Equipamentos utilizados:

- ✓ Aparelho de Análise Térmica Diferencial
- ✓ Balança analítica
- ✓ Difrátometro de Raio X
- ✓ Estufa
- ✓ Forno elétrico
- ✓ Instrumentos para agitação das amostras de vidrados (colheres, bastões e outros.)
- ✓ Moinhos periquitos com seixos de porcelana
- ✓ Moldes de gesso para preparação de corpos de prova por colagem
- ✓ Peneiras #60, #100, #120, #150, #200, #325 da norma ABNT
- ✓ Picnômetro de inox
- ✓ Tigelas para preparação de vidrados

7.3. Características do processo artesanal e artístico

Maquinários usados na indústria, onde se obtêm melhor controle das matérias primas e o produto final mais uniforme são raros em pequenas estruturas como oficinas e ateliês. Entre esses equipamentos se inclui o moinho de bolas, que proporciona menor granulometria e, conseqüentemente, melhor sinterização dos materiais e homogeneidade do produto final; a campana que gera uma cortina contínua, com espessura uniforme e constante cobrindo a superfície do corpo cerâmico, entre outros.

Espaços como oficinas e ateliês fazem as formulações dos esmaltes normalmente por dispersão manual ou utilizam maquinários domésticos simples, como liquidificadores, furadeiras elétricas com brocas adaptadas, maquinários de padarias para massas alimentícias, uma gama de instrumentos que facilitam a dispersão e auxiliam o manejo das matérias primas. Com base nesse processo artístico e artesanal, a proposta é simular a rotina desses profissionais, a fim de aproximá-los desses materiais de descarte que oferecem benefícios similares comparados as matérias primas encontradas no varejo e utilizá-las em suas obras ou produtos.

Durante este estudo, foram feitos vários vidrados, a partir de três formulações padrões, retirando as matérias primas existentes de cada padrão e criando um novo vidrado sem um determinado material e as que obtiveram as melhores características como homogeneidade da cor, espalhamento uniforme do aspecto vítreo, formação de cristais e efeitos estéticos diferenciados, tornaram-se novos padrões para a substituição do feldspato pelos rejeitos de ardósia e marmoraria, total ou parcial. As composições dos padrões foram de **vidrados cristalizados, metalizados e mates manchados**.

7.4. Desenvolvimento dos Vidrados

O trabalho anterior, relatado por Minoro (), utiliza como base a indústria. Naquele estudo, foram desenvolvidas várias formulações de vidrados para chegar aos padrões e inserir os rejeitos. No presente estudo, a partir de comparação com a análise de Minoro e algumas amostras, a base utilizada como corpo de prova é artesanal, a massa de faiança feldspática por colagem para aplicação. Como as bases de estudo são diferentes – industrial, no caso de Minoro e artesanal, neste estudo -, os resultados são distintos.

Tabela 3

FAINÇA DURA (Feldspática - 1250° C)			
Mer (g/cm³)	Mea	Matéria-prima	%
2,57	0,72	Argila São Simão # malha 100	28
2,44	0,27	Caulim # malha 325	22
2,65	0,93	Quartzo # malha 200	35
2,55	0,38	Feldspato # malha 200	15
	2,57		100

A granulometria de cada matéria-prima dos vidrados foi em malha 200. Após a dispersão dos vidrados, as formulações foram peneiradas em malha 70; a aplicação escolhida foi o banho, em uma camada; Mea de 1,30g/cm³ até 1,45 g/ cm³ possibilitando melhor viscosidade e fluidez na aplicação nos corpos de prova. A substituição do feldspato pelo rejeito exigiu um aumento de água, até 100% para atingir a Mea de 1,30g/cm³ e 1,40 g/cm³.

8. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A primeira queima foi em forno contínuo a gás, na temperatura de 1250°C que apresentou muitos problemas, como furos, pouco brilho e não fundiram corretamente. O único efeito satisfatório foi o venturina, com cristais de tamanhos até 9 mm. Foram repetidos os mesmos corpos de prova para serem queimados em forno elétrico na temperatura de 1250° C, no ciclo de queima de oito horas e um patamar final de uma hora. Após a queima e o resfriamento, pode-se visualizar ótimo resultado adquirido com bom aspecto vítreo, acordo massa vidrado adequado e a maioria ausente de defeitos em superfície plana.

Após a queima, as amostras apresentaram aspectos que se caracterizaram pela beleza. Em alguns corpos de prova, a granulometria dos óxidos ficou visível na superfície, ocasionado pela dispersão manual e não em moinhos periquitos, outros com manchas sem uniformidade, mas com boa estética.

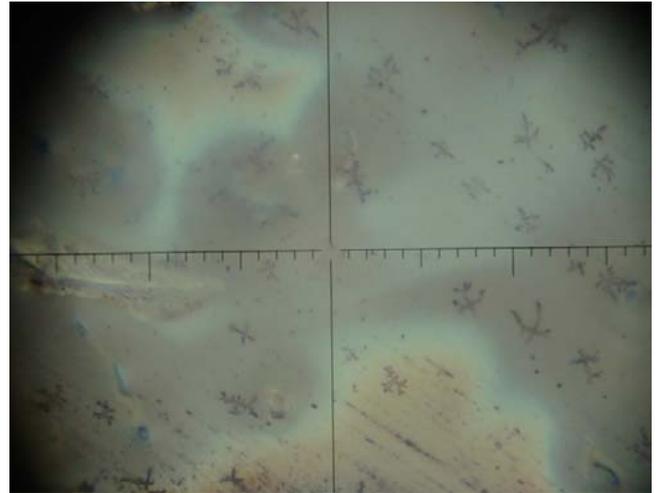
A comparação dessa análise se deu com o trabalho de Minoro () e, a partir daí, conclui-se que, comparados ao primeiro trabalho, em que os vidrados foram dispersados em moinhos periquitos e aplicados por aerógrafos, percebe-se que foram obtidas cores uniformes e menos efeitos. No trabalho ora realizado, o resultado demonstra como é significativa a experimentação na cerâmica e a possibilidade de se obter resultados surpreendentes. O escorrimento foi o problema encontrado nessa formulação, pois o excesso de fundentes ocasionou esse descontrole.

O uso do pó de rejeito de ardósia e marmoraria é uma matéria-prima praticamente pronta, quando retiradas de seu local de armazenamento, favorecendo ainda mais o seu uso em qualquer setor. Sua fina granulometria dispensa o uso de moagem do material, podendo ser apenas o peneiramento, que possibilita boas características de interesse cerâmico.

Foram feitos dois corpos de prova apenas dos rejeitos, com a adição de 10% de caulim e 0,5% de CMC para ajudar na suspensão e aderência, após a queima apresentaram boa cobertura e brilho, no rejeito de marmoraria foram comprovados por meio de micrografia a formação de pequenos cristais, o escorrimento dos dois rejeitos é controlado e com bom efeito de cor e texturas.



Camada vítrea com 95% de rejeito de ardósia

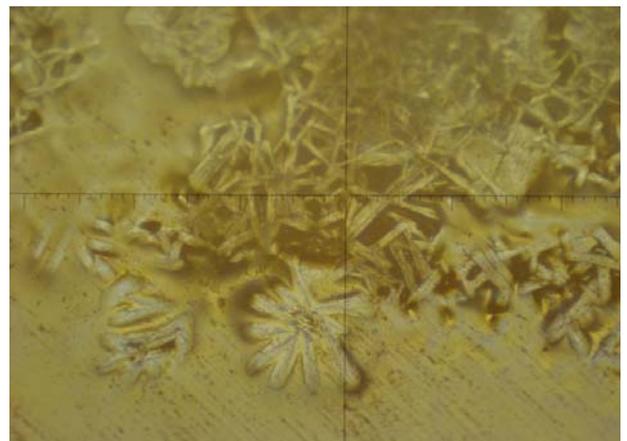


Micrografia do rejeito de ardósia apresentando ausência de cristais

Figura 7 – Corpo de prova recoberto com 95% de rejeito de ardósia a 1250° C e micrografia comprovando a ausência de cristais.



Camada vítrea com 95% de rejeito de marmoraria



Micrografia do rejeito de marmoraria apresentando presença de cristais

Figura 8 – Corpo de prova recoberto com 95% de rejeito de marmoraria a 1250° C e micrografia comprovando a presença de cristais.

A porcentagem de Fe_2O_3 no rejeito de ardósia foi que mais alterou as cores. Esses rejeitos possibilitaram tons terrosos como amarelos, laranjas e marrons, o rejeito de marmoraria tem uma menor quantidade de Fe_2O_3 e influenciou menos nas cores comparadas a ardósia. O que predominou após a substituição dos rejeitos foi o efeito mate.

A seguir, são apresentadas as tabelas dos vidrados selecionados para adição e substituição parcial do feldspato por rejeitos:

Tabela 4 – Vidrados com efeito cristalino

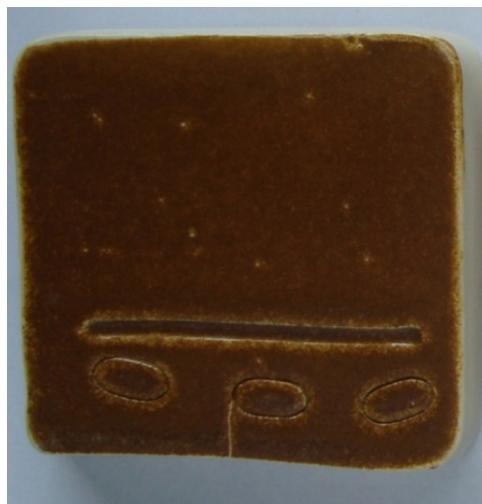
Padrão	V1(g)	V1.RA1(g)	V1.RA2(g)	V1.RM1(g)	V1.RM2(g)	1B(g)	1B.RA2(g)
Feldspato Pot.	22,84		11,42		11,42	25,23	12,61
Quartzo	16,18	16,18	16,18	16,18	16,18	18,16	18,16
Caulim	6,66	6,66	6,66	6,66	6,66	7,06	7,06
Calcita	13,32	13,32	13,32	13,32	13,32	14,13	14,13
Dolomita	6,66	6,66	6,66	6,66	6,66	7,06	7,06
Ox Titânio	9,51	9,51	9,51	9,51	9,51	10,09	10,09
Ox Zinco	14,27	14,27	14,27	14,27	14,27	15,14	15,14
Ox Ferro	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61		
Bissilicato Pb	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85	3,03	3,03
CMC	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Rejeito de Ardósia		22,84	11,42	22,84	11,42		12,61

Foram realizados testes com os rejeitos, de acordo com a **Tabela 4 - Vidrados Cristalinos**, da qual se podem observar os seguintes resultados:

A combinação dos rejeitos com as matérias primas nessas formulações obtiveram bons resultados, apresentando em todos os modelos o crescimento de cristais, em cada uma delas apresentou características distintas em cada modelo, como cor e

textura, o problema encontrado nessa formulação foi a adição excessiva de fundentes como o feldspato, a calcita, a dolomita e o rejeito que também é outro fundente, provocou o escorrimento do vidrado nas peças. Os corpos de prova V1RA2 e 1BRM1 apresentaram o efeito metalizado e não houve controle do escorrimento. Um ponto positivo foi a formação de cristais constatada por micrografia.

Nas figuras seguintes, são apresentados, em fotografias, os resultados da análise do padrão Tabela 4 V1 e os corpos de prova com a adição dos rejeitos.



Corpo de prova Tabela 4 V1



Corpos de prova respectivamente V1RA1 com 22,84% de rejeito de ardósia e V1RA2 com 12,42%



Corpo de prova respectivamente VIRM1 COM 22, 84% de rejeito de marmoraria e VIRM2 com 12,42%

Figura 9 – Análise do padrão Tabela 4 V1 e os corpos de prova com a adição dos rejeitos

Para melhor compreensão das análises realizadas, os resultados obtidos serão apresentados, a seguir, de forma detalhada:

- **V1RA1** (Adição total da ardósia) - Com o óxido de ferro e sem o feldspato apresentou boa cobertura vítrea, formação de pequenos cristais e homogeneidade da cor.
- **V1RA2** (Adição parcial da ardósia) – Esse vidrado apresentou uma melhor estética em superfícies horizontais, com manchas diferenciadas com tom esbranquiçadas e fundo azul acinzentado, boa camada vítrea, surgimento de pequenos cristais, o problema foi na aplicação em superfície horizontal ocorreu escorrimento no banho, sendo necessária uma menor porcentagem dos fundentes.
- **V1RM1** (Adição total do rejeito de marmoraria) – Manteve a cor padrão, maior formação de cristais, com menor homogeneidade da cor.
- **V1RM2** (Adição parcial do rejeito de marmoraria) – Alteração e escurecimento da cor para azul marinho, boa textura e aspecto mate do vidrado.
- **1BRA2** (sem ox. Ferro e adição parcial do rejeito de ardósia) – Clareamento da cor, formação de pequenos cristais, é necessário uma camada mais fina

na aplicação para não ocorrer o escorrimento do vidrado, mas o resultado foi satisfatório.

- **1BRM1** (sem ox. Ferro e adição total do rejeito de marmoraria) – escurecimento da cor, manchas com boa estética na vertical, mas esse vidrado não obteve resultado satisfatório pela má cobertura e escorrimento excessivo.



• **Figura 10 - 1BRA2 sem óxido de Ferro e adição parcial do rejeito de ardósia.**



Figura 11 - 1BRM1 sem ox. Ferro e adição total do rejeito de marmoraria

Tabela 5 – Vidrados com efeito metalizado

Padrão	V2(g)	V2RA1 (g)	V2RA2 (g)	V2RM1 (g)	V2RM2 (g)	2B (g)	2BRM1 (g)	2C (g)	2CRM1 (g)
Bissilicato Pb	70,78		39,92		35,39	70,78		74,85	
Argila. SS	4,53	4,53	4,53	4,53	4,53	4,53	4,53	4,79	4,79
Caulim	6,35	6,35	6,35	6,35	6,35	6,35	6,35	6,71	6,71
Feldspato Pot.	9,07				9,07	9,07		9,59	
Ox. Estanho	1,81	1,81	1,81	1,81	1,81	0,91			
Ox Manganês	2,72	2,72	2,72	2,72	2,72	0,91			
Ox Ferro	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	0,91			
Ox Cobre	2,72	2,72	2,72	2,72	2,72	0,91			
CMC	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Cor. Ama						5,44	5,44	3,83	3,83
Rejeito de Ardósia		70,78	39,92	70,78	35,39		70,78		74,85

Os testes foram realizados com os rejeitos, de acordo com a **Tabela 5 - Vidrados Metalizados**, da qual se extraem os seguintes resultados:

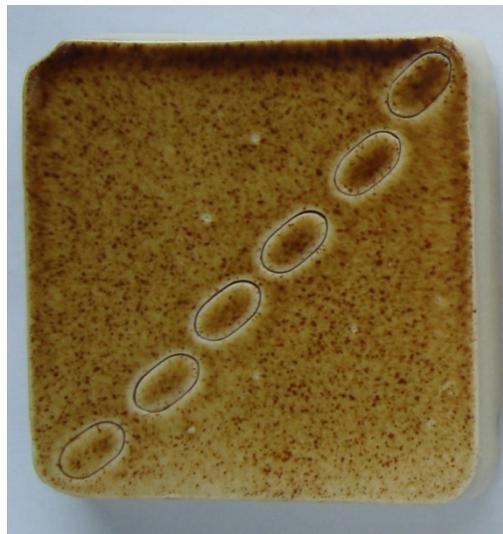
A adição dos rejeitos e a combinação com os elementos das formulações causaram nesse vidrado uma estética muito similar em todos os corpos de prova, a partir da formulação padrão **V2**. O aspecto do vidrado padrão de cor bege e granulometria visível não se manteve nos modelos seguintes e, após a queima, perdeu essa característica, já que a cor foi alterada para marrom escuro, alguns com efeito de mate manchado e outros o metalizado.

A formulação **V2RM2** com adição parcial do rejeito de marmoraria foi a que apresentou o melhor resultado de todos os outros modelos, com aspecto metalizado mais acentuado. Em relação à cor, ocorreu o seu escurecimento, com bom efeito estético.

No vidrado **2CRA1**, com adição total da ardósia, a falta dos óxidos e do bissilicato ocasionou a fervura. A partir do padrão **2C**, o modelo seguinte **2CRM1** foi o que

apresentou melhores características estéticas e de efeito. Notou-se escorrimento preciso, com poucas matérias-primas adicionadas, não tendo ocorrido apenas o aspecto metalizado.

Na Tabela 5, de efeito metalizado, somente o corpo de prova V2RM2 adquiriu o aspecto padrão. Os corpos de prova que adquiriram essa característica do metalizado, contém, em sua formulação, metade do feldspato e metade dos rejeitos, podendo ser observado que o feldspato é o agente do efeito, mas deve ser diminuída sua quantidade para não ocorrer o escorrimento descontrolado.



Corpo de prova Tabela 5 V2



Corpos de prova respectivamente V2RA1 com 70,78% de rejeito de ardósia e V2RA2 com 39,92%

Figura 12 - Análise do padrão Tabela 5 V2 e os corpos de prova com a adição dos rejeitos

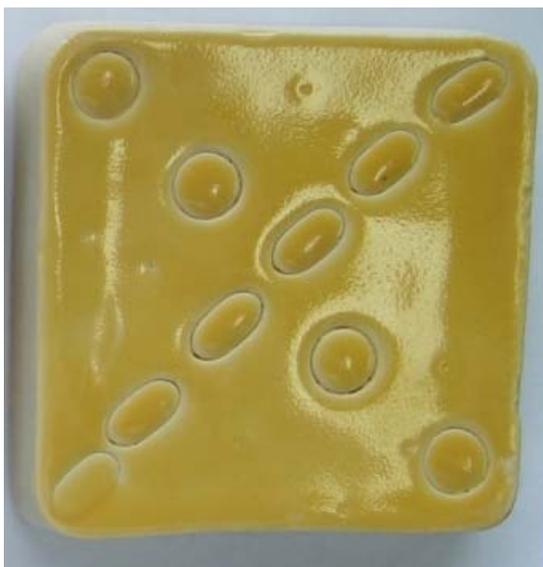


Figura 13 – Corpo de prova Tabela 5 2C



Figura 14 - Tabela 5 2CRM1 adição total do rejeito de marmoraria



Figura 15 – V2 RM2 adição parcial de rejeito de marmoraria.

Tabela 6 – Vidrados com efeito mate manchado

Padrão	V3(g)	V3RA1 (g)	V3RA2 (g)	V3RM1 (g)	V3RM2 (g)	3^a (g)	3ARM1 (g)	3B(g)	3BRA1 (g)	3BRM1 (g)
Feldspato Pot.	39,79		19,90		19,90	41,96		40,55		
Caulim	4,71	4,71	4,71	4,71	4,71	5	5	4,94	4,94	4,94
Quartzo	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	7	7	6,92	6,92	6,92
Talco	4,71	4,71	4,71	4,71	4,71			4,94	4,94	4,94
Carbonato. Bário	28,28	28,28	28,28	28,28	28,28	29,98	29,98	28,64	28,64	28,64
Ox. Zinco	11,31	11,31	11,31	11,31	11,31	11,99	11,99	11,86	11,86	11,86
Ox Ferro	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	3				
Ox Níquel	2,83	2,83	2,83	2,83	2,83	2		1,97	1,97	
CMC	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Rejeito de Ardósia		39,79	19,9	39,79	19,9		41,96		40,55	42,52

Nessa formulação, houve maior semelhança dos modelos comparados em relação à formulação padrão. O efeito de vidro mate predominou, com maior característica da granulometria aparente, boa textura e alteração das cores devido à porcentagem de rejeitos adicionados, apresentando resultados mais satisfatórios.

Presença de efeitos decorativos diferenciados, com evidência dos óxidos, a exceção foi do modelo V2RA1, apresentando efeitos de vidrados cristalizados. É necessária a correção no exemplo 3ARM1, devido ao excesso de escorrimento.



Figura 16 - 3ARM1 adição total de rejeito de marmoraria.



Corpo de prova Tabela 6 V3



Corpos de prova respectivamente V3RA1 com 39,79% de rejeito de ardósia e V3RA2 com 19,9%.



Corpos de prova respectivamente V3RM1 com 39,79% de rejeito de marmoraria e V3RM2 com 19,9%.

Figura 17 - Análise do padrão Tabela 6 V3 e os corpos de prova com a adição dos rejeitos

Padrão 3A



3ARA1



3ARM1



Figura 18 – Análise do padrão Tabela 6 3A e os modelos dos corpos de prova com a adição dos rejeitos 3ARA1 E 3ARM1

A partir do padrão **3^a**, pode ser observado que os modelos que partiram da sua formulação com a retirada do talco, não sofreram diferenças consideráveis dos efeitos, exceto um pouco de brilho. No corpo de prova **3ARA1** ocorreu a mudança da cor padrão azul escuro para preto, mantendo a boa cobertura vítrea. No corpo de prova **3ARM1** ocorreu o clareamento para amarelo, com formação de cristais.

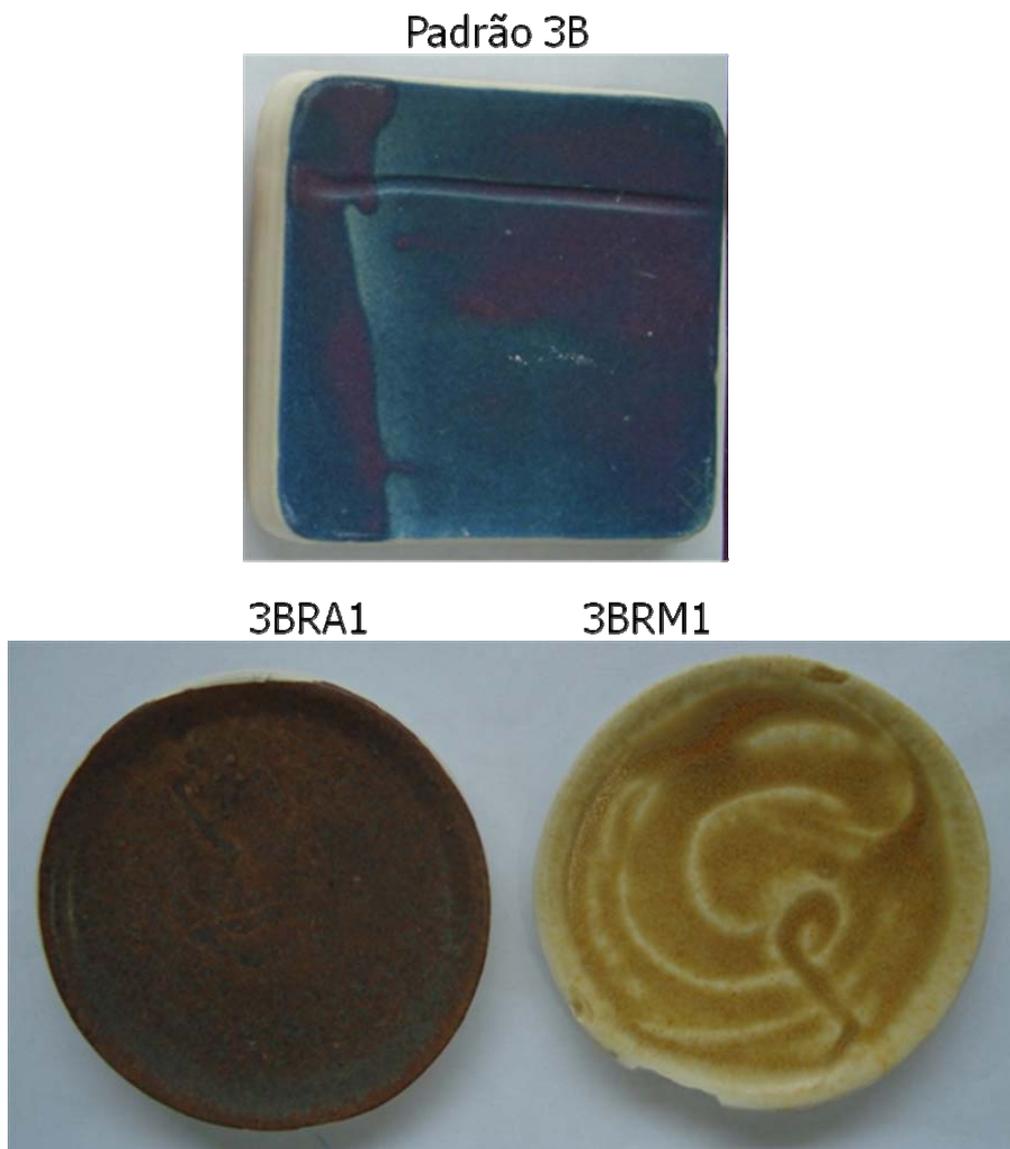


Figura 19 – Análise do padrão Tabela 6 3B e os modelos dos corpos de prova com a adição dos rejeitos 3BRA1 E 3BRM1

- **3BRA1** (Adição total da ardósia) – alteração da cor do azul para o marrom, manteve o aspecto mate, formando cristais.
- **3BRM1** (Adição total do rejeito de marmoraria e ausência do óxido de níquel) – clareamento da cor do azul para amarelo e formou pequenos cristais.

6 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos nesta análise permitem concluir que é possível e recomendável a utilização dos resíduos de ardósia e marmoraria em vidrados, pois a sua utilização reduz custos. Constata-se ainda, que esse procedimento diminui a quantidade de rejeitos lançados na extração da ardósia e no beneficiamento das rochas ornamentais, utilizando soluções de baixo custo, capazes de agregar valor comercial ao produto final.

Pode-se observar que suas características fundentes e vítreas são bastante elevadas, sua ação com outras matérias-primas apresenta bons efeitos decorativos e possibilita a formação de cristais e cor homogênea.

Usando somente o rejeito numa base vertical foi possível observar que não é necessário complementar com outro tipo de fundente, pois não apresenta excesso de escorrimento. Isso ocorre quando está acompanhado do feldspato e o carbonato de bário numa quantidade maior desses materiais. O feldspato numa pequena porcentagem não ocasiona o defeito mencionado, além de auxiliar no clareamento das cores.



**Figura 20 – Formulação com 94,5% rejeito,
5% do caulim e 0,5% CMC**

Contudo, os rejeitos superaram as expectativas, de onde se conclui que podem ser direcionados para os outros segmentos da indústria cerâmica, onde o uso é de alta temperatura. O efeito estético e características desses rejeitos determinaram seu uso no vidrado. A partir de diferentes queimas, é possível adquirir características muito positivas, como cobertura vítrea e fundência regular na superfície. As cores devem ser controladas com maior cuidado, pela ocorrência das alterações desse processo.

Outras análises direcionadas para produtos da indústria, como toxicidade, resistência mecânica e resistência ao ataque químico dos rejeitos não foram feitos, pois este projeto tem o foco na cerâmica artística e o objetivo de uso para outras finalidades exigiria um tempo maior para essas avaliações.

BIBLIOGRAFIA

CHAVARRIA, Joaquim. **A Cerâmica**. Lisboa: Editorial Estampa, 1997.

CHAVARRIA, Joaquim. **Aula de Cerâmica: Esmaltes**. Parramon, 1998.

COMPART, Luciana C. A. **Suporte Cerâmico para Imobilização de Basidiomicetos em Biorremediação de Solos**. 2004.

KALIL, Deanne et al. **Vidrados e Decoração para Cerâmica artística**. Associação Brasileira de Cerâmica. 1987.

MATTHES, Wolf E. **Vidriados Cerâmicos**. Edicións Omega AS, Platô, 26 – 08006. Barcelona. 1990.

MINORO, Ricardo.

NORTON, F. H. **Introdução à Tecnologia Cerâmica**. São Paulo: Edgard Blücher, 1973.

OLIVEIRA, Maria A.C. **Estudo de aproveitamento de rejeitos da mineração de ardósia visando aplicações tecnológicas em cerâmica**. Dissertação de Mestrado. UNESP. São Paulo. 2001.

PEDRASSANI, Jaime. Manual de Preparação de Esmaltes e Engobes. 2002.

PILEGGI, Aristides. **Cerâmica no Brasil e no Mundo**. São Paulo: Livraria Martins Editora, 1958.

SANTOS Leia M. N. **Estado Vítreo** – Apostila do Curso de Técnico em cerâmica, São Paulo, 2003.

SANTOS, Persio de Souza Santos. **Ciência e Tecnologia de Argilas**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, Brasil, 1992.

SIMONIS, Horst. **Esperienze in Ceramica gli Smalti**. Faenza, Itália: Gruppo Editoriale Faenza Editrice S.p.A, 1994.

VLACK, L. H. Van. **Princípios de ciências dos materiais**. São Paulo: Wesley Publishing Company Inc., Edgard Blücher, 1970.

SITES

[_www.cetem.gov.br/publicacao/serie_anais_XV_jic_2007/Lydia_Norina_Nuria_Ferandes.pdf](http://www.cetem.gov.br/publicacao/serie_anais_XV_jic_2007/Lydia_Norina_Nuria_Ferandes.pdf)

[_www.micapel.com/portugues/index.php?option=content&task=view&id=173&Itemid=184](http://www.micapel.com/portugues/index.php?option=content&task=view&id=173&Itemid=184)

[_www.bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/137/html/sec_10.html](http://www.bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/137/html/sec_10.html)

[_www.ufrgs.br/lacad/index.htm](http://www.ufrgs.br/lacad/index.htm)

[_www.ufrgs.br/lacad/matprglossario.html](http://www.ufrgs.br/lacad/matprglossario.html)

[_www.vitraux-art.com.ar/blog/?page_id=22](http://www.vitraux-art.com.ar/blog/?page_id=22)

[_www.eps.ufsc.br/teses97/amboni/cap4.htm](http://www.eps.ufsc.br/teses97/amboni/cap4.htm)

