

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE
MATERIAIS

DISSERTAÇÃO

Determinação de parâmetros da qualidade para a
avaliação de recobrimentos superficiais de telhas
cerâmicas

Área de Concentração: Materiais Particulados

Mestrando: Manoel Alfredo Pereira

Orientador: Prof. Dr. Eng. Orestes Estevan Alarcon

Co-orientadora: Dr. Eng. Claudia Lira

Florianópolis, julho de 2006.

Determinação de parâmetros da qualidade para a avaliação de recobrimentos superficiais de telhas cerâmicas

MANOEL ALFREDO PEREIRA

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO GRAU
DE MESTRE EM ENGENHARIA E CIÊNCIA DE MATERIAIS, ÁREA DE
CONCENTRAÇÃO MATERIAIS PARTICULADOS

Prof. Dr. Orestes Estevam Alarcon

Orientador

Prof. Dr. Cláudia Lira

Co-orientador

Prof.Dr. Coordenador do Programa Ana Maria Maliska

BANCA EXAMINADORA:

Prof.Dr. Dachamir Hotza

Prof.Dr. Antônio Pedro Novaes de Oliveira

Prof. Dr. Guilherme Mariz de Oliveira Barra

Á minha esposa Nancy
e aos meus filhos Débora e Daniel.

Agradecimentos

Primeiramente agradeço a Deus pelos momentos de inspiração na realização deste trabalho.

Aos professores Orestes Estevan Alarcon e Claudia Lira pela orientação e proposta do tema.

Ao professor Widomar Pereira Carpes Jr. pelo companheirismo e inestimável colaboração neste trabalho.

Aos professores Dachamir Hotza e Guilherme Mariz de Oliveira Barra por oferecer contribuições relevantes, tornando possível a finalização deste trabalho.

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Materiais, Márcio Celso Fredel, Aloísio Nelmo Klein, Antônio Pedro Novaes de Oliveira e Paulo Antonio Pereira Wendhausen. Também ao Secretário Rogério Antonio Campos, por estar sempre disponível durante todos esses anos.

A aluna Maximiriam Rocha do Curso Superior de Tecnologia em Cerâmica, responsável pelo Laboratório de Prestação de Serviços Físico/Químico e Esmaltes do SENAI de Tijucas (SC) pela ajuda nos ensaios realizados.

A Coordenação do Curso Superior de Tecnologia em Cerâmica da UNIFEBE/SENAI pelo uso do Laboratório da Cerâmica PortoBello S.A. e ao colega Eng. Ricardo A. Santos por ajudar na utilização do referido Laboratório.

Ao CEFET/SC pelo uso do Laboratório de Química na realização do Ensaio de Salinidade;

Aos meus colegas do CEFET/SC Jânio Rodrigues Lopes, Hélio Ormeu Ribeiro, Cláudio Roberto Losekann, Jaime Domingos Teixeira, César Fontanella, Marcelo

Wandresen, Bernardo João Rachadel e Edison de Andrade Costa pelas sugestões e companheirismo.

Às empresas fabricantes de telhas Cerâmica Galera e Telhas Boa Esperança pelas visitas e informações cedidas.

E a todos aqueles que, de maneira direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho.

Sumário

Índice de Figuras	viii
Índice de Tabelas	xi
Lista de Abreviaturas	xiii
Resumo	xiv
Abstract	xv
1. Introdução	1
2. Justificativa, Objetivos e Hipóteses	6
2.1 Justificativa	6
2.2 Objetivos	7
2.3 Hipóteses	7
3. Pesquisa Bibliográfica	8
3.1 Processamento de Telhas	8
3.1.1 Extração e Estocagem de Matéria Prima	9
3.1.2 Preparação da Matéria Prima	11
3.1.3 Conformação (Extrusão, Corte e Prensagem)	12
3.1.4 Processamento Térmico	14
3.1.5 Controle do Produto Acabado	16
3.2 Recobrimentos para Telhas	16
3.2.1 Esmaltes Cerâmicos	16
3.2.2 Tintas para Recobrimentos de Telhas	19
3.2.2.1 Resinas de Silicone	23
3.2.2.2 Resinas Acrílicas	24
3.2.2.3 Resinas Poliésteres	26
3.3 Normas Aplicáveis aos Recobrimentos	28
4. Materiais e Métodos	31
4.1 Pesquisa Prévia	31
4.2 Análise Visual	37
4.3 Ensaio de Absorção de Água	38
4.4 Ensaio de Resistência à Flexão	40

4.5 Ensaio de Impermeabilidade	43
4.6 Ensaio de Resistência ao Ataque Químico	43
4.7 Ensaio de Resistência ao Manchamento	44
4.8 Ensaio de Resistência a Abrasão	45
4.9 Ensaio de Resistência ao Risco	48
4.10 Ensaio de Exposição ao Tempo	50
4.11 Ensaio de Resistência a Salinidade	51
4.12 Ensaio de Resistência ao Congelamento	51
4.13 Ensaio de Resistência ao Gretamento	53
5. Ensaio Experimentais e Resultados	54
5.1 Análise Visual	54
5.2 Ensaio de Absorção de Água	55
5.3 Ensaio de Resistência a Flexão	58
5.4 Ensaio de Impermeabilidade	61
5.5 Ensaio de Resistência ao Ataque Químico	64
5.6 Ensaio de Resistência ao Manchamento	69
5.7 Ensaio de Resistência a Abrasão	74
5.8 Ensaio de Resistência ao Risco	81
5.9 Ensaio de Exposição ao Tempo	84
5.10 Ensaio de Resistência a Salinidade	84
5.11 Ensaio de Resistência ao Congelamento	89
5.12 Ensaio de Resistência ao Gretamento	89
5.13 Comparação dos Resultados	91
6. Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros	98
6.1 Conclusões	98
6.2 Sugestões para Trabalhos Futuros	100
7. Bibliografia	102
Anexo I	106

Índice de Figuras

Figura 4.1 –	Aspectos tecnológicos desejados pelos consumidores para as telhas.	32
Figura 4.2 –	Aspectos estéticos desejados pelos consumidores para as telhas.	33
Figura 4.3 –	Aspectos Funcionais desejados pelos consumidores para as telhas.	34
Figura 4.4 –	Recipiente utilizado no ensaio de absorção.	39
Figura 4.5 –	Desenho esquemático do aparelho para determinar o módulo de resistência à flexão.	41
Figura 4.6 –	Deflectômetro - Equipamento utilizado no ensaio de resistência à flexão.	42
Figura 4.7 –	Abrasímetro - Equipamento utilizados no ensaio de resistência à abrasão.	48
Figura 4.8 –	Materiais utilizados no ensaio de resistência ao risco.	49
Figura 4.9 –	Corpos de prova utilizados no ensaio de resistência ao tempo.	50
Figura 4.10 –	Campânula de vácuo e bomba de vácuo para extração do ar e impregnação com água para o ensaio de congelamento.	52
Figura 5.1 –	Percentual de absorção de água pelos corpos de prova.	57
Figura 5.2 –	Resistência à flexão de telhas com diversos tipos de revestimento.	60
Figura 5.3 –	Corpos de prova utilizados no ensaio de impermeabilidade, corpos de prova de telhas naturais, com recobrimento de resina de silicone, de poliéster, acrílica e esmalte cerâmico respectivamente.	63
Figura 5.4 –	Corpos de prova que sofreram ataque químico com hidróxido de potássio, das telhas natural, com recobrimento de resina acrílica, de poliéster, de silicone	66

e de esmalte cerâmico respectivamente.

- Figura 5.5 – Corpos de prova que sofreram ataque químico com ácido clorídrico, das telhas naturais, com recobrimento de resina acrílica, de poliéster, de silicone e de esmalte cerâmico respectivamente. 67
- Figura 5.6 – Corpos de prova que sofreram ataque químico com ácido cítrico, das telhas naturais, com recobrimento de resina acrílica, de poliéster, de silicone e de esmalte cerâmico respectivamente. 69
- Figura 5.7 – Corpos de prova que sofreram ensaio de manchamento, das telhas natural, com recobrimento de resina acrílica, de poliéster, de silicone e de esmalte cerâmico respectivamente. 74
- Figura 5.8 – Corpos de prova sem recobrimento superficial (natural) após os ensaios de resistência a abrasão, com 150, 500 e 1000 giros. 76
- Figura 5.9 – Corpos de prova com recobrimento superficial esmaltado após os ensaios de resistência a abrasão, com 150, 500 e 1000 giros. 77
- Figura 5.10 – Corpos de prova com recobrimento superficial esmaltado após os ensaios de resistência a abrasão, com 150, 500 e 1000 giros. 78
- Figura 5.11 – Corpos de prova com recobrimento superficial acrílico após os ensaios de resistência a abrasão, com 150, 500 e 1000 giros. 79
- Figura 5.12 – Corpos de prova com recobrimento superficial de poliéster após os ensaios de resistência a abrasão, com 150, 500 e 1000 giros. 80
- Figura 5.13 – Corpo de prova sem recobrimento superficial (natural) após a execução do ensaio de resistência ao risco. 81

Figura 5.14 –	Corpo de prova com recobrimento superficial de silicone após a execução do ensaio de resistência ao risco.	82
Figura 5.15 –	Corpo de prova com recobrimento superficial esmaltado após a execução do ensaio de resistência ao risco.	82
Figura 5.16 –	Corpo de prova com recobrimento superficial acrílico após a execução do ensaio de resistência ao risco.	83
Figura 5.17 –	Corpo de prova com recobrimento superficial de poliéster após a execução do ensaio de resistência ao risco.	83
Figura 5.18 –	Variação de massa a úmido (%).	85
Figura 5.19 –	Variação de massa a seco (%).	86
Figura 5.20 –	Corpos de prova ensaiados quanto à resistência a maresia.	88
Figura 5.21 –	Corpos de provas ensaiados quanto à resistência ao gretamento.	90

Índice de Tabelas

Tabela 4.1 –	Resultado da pesquisa quanto aos aspetos tecnológicos desejados nas telhas.	31
Tabela 4.2 –	Resultado da pesquisa quanto aos aspetos estéticos desejados nas telhas.	32
Tabela 4.3 –	Resultado da pesquisa quanto aos aspetos funcionais desejados nas telhas.	33
Tabela 4.4 –	Valores de dureza MOHS para os diversos minerais.	49
Tabela 5.1 -	Ensaio de absorção de água da telha romana natural sem recobrimento.	55
Tabela 5.2 -	Ensaio de absorção de água da telha romana com recobrimento esmaltada.	55
Tabela 5.3 -	Ensaio de absorção de água da telha romana com recobrimento poliéster.	55
Tabela 5.4 -	Ensaio de absorção de água da telha romana com recobrimento acrílico.	56
Tabela 5.5 -	Ensaio de Absorção de água da telha romana com recobrimento silicone.	56
Tabela 5.6 -	Comparativo dos valores de Absorção de Umidade.	56
Tabela 5.7 -	Ensaio de resistência à flexão das telhas romanas naturais (sem recobrimento).	58
Tabela 5.8 -	Ensaio de resistência a flexão das telhas romana esmaltada.	58

Tabela 5.9 -	Ensaio de resistência à flexão na telha romana com recobrimento poliéster.	58
Tabela 5.10 -	Ensaio de resistência à flexão da telha romana com recobrimento acrílico.	59
Tabela 5.11 -	Ensaio de resistência à flexão da telha romana com recobrimento silicone.	59
Tabela 5.12 –	Comparativo entre os valores de resistência à flexão apresentados pelos corpos de prova.	59
Tabela 5.13 –	Avaliação da resistência ao ataque químico.	64
Tabela 5.14 –	Símbolos utilizados na Tabela 4.14 dos resultados do ensaio de resistência ao manchamento.	70
Tabela 5.15 –	Resultados do ensaio de manchamento em função do tipo de recobrimento, dos agentes manchantes e do material de limpeza.	71
Tabela 5.16 –	Resultados da exposição ao tempo.	84
Tabela 5.17 -	Variação de massa dos corpos de prova a úmido.	85
Tabela 5.18 -	Variação de massa dos corpos de prova a seco.	86
Tabela 5.19 –	Resultados dos ensaios de resistência ao gretamento.	90
Tabela 5.20 –	Ordenação dos recobrimentos cerâmicos quanto às características de desempenho.	96
Tabela 5.21 -	Ordenação dos recobrimentos cerâmicos quanto às características de desempenho que dependem apenas das características superficiais.	96

LISTA DE ABREVIATURAS

ASTM	American Society for Testing and Materials
ABC	Associação Brasileira de cerâmica
ABNT	Associação Brasileira de Normas técnicas
AS	Austrália
CTCmat	Centro de Tecnologia em Materiais
CEFET/SC	Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina
GLP	Gás Liquefeito do Petróleo
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial.
NaCl	Cloreto de Sódio
NBR	Norma Brasileira
NZS	Nova Zelândia
S	Desvio Padrão
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina

RESUMO

Devido à necessidade de oferecer telhas cerâmicas com características superiores aos produtos concorrentes, muitos fabricantes passaram a produzir telhas com recobrimentos superficiais. Ocorre, porém, que a maioria dos fabricantes não avalia a qualidade destes recobrimentos porque não existem ensaios previstos em normas brasileiras, gerando dúvidas sobre a qualidade dos mesmos. Sendo assim, neste trabalho pesquisaram-se as características desejadas pelos consumidores em relação aos recobrimentos superficiais das telhas cerâmicas, buscando estabelecer normas aplicáveis para ensaiar as mesmas. Realizou-se ensaios para avaliar aspectos tecnológicos, estéticos e funcionais. Para ordenar os resultados obtidos, utilizou-se um método de comparação onde foram designados pontos para o desempenho dos recobrimentos. Nos ensaios, os resultados permitiram concluir que os melhores desempenhos foram apresentados pelo recobrimento superficial de silicone. Depois deste, obtiveram as melhores pontuações, em ordem decrescente, os recobrimentos poliéster, de acrílico e de esmalte cerâmico. As telhas naturais (sem recobrimento) foram ensaiadas apenas para efeito comparativo.

ABSTRACT

Due to the need of offering ceramic tiles with better characteristics than the contestants, many manufacturers started producing tiles with superficial coverings. Most manufacturers, however, do not test their products because, tests of this kind are not predicted by Brazilian standards. As a result, this work has focused on the characteristics expected by consumers in relation to the superficial covering of the ceramic tiles looking for applicable standards for testing them. Tests were conducted aiming for functional, aesthetic and technological aspects. To organize the obtained results, a comparison method was used in which scores were designated for the performance of the coverings. The results allowed us to conclude that the best performances were presented by the superficial covering of silicon. Following the silicon, the best scores, in decreasing order, were obtained by the polyester, acrylic coverings and ceramic enamel. The natural tiles (without covering) were tested for comparison only.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente a indústria de cerâmica vermelha conta com 6.860 empresas, sendo que a maioria delas se concentra nas regiões sul e sudeste. O setor de telhas e blocos cerâmicos produz aproximadamente 30 bilhões de peças ao mês, sendo 25 bilhões de blocos e 5 bilhões de telhas, empregando 214.000 trabalhadores no Brasil. Os produtos cerâmicos representam aproximadamente 1% do Produto Interno Bruto, sendo que a cerâmica vermelha corresponde a 40% deste valor (ABC, 2003).

A indústria cerâmica brasileira é fundamental para a construção civil, sendo que existem poucas alternativas de telhas cerâmicas, para custos equivalentes. Porém, apesar da abundância de matéria-prima no Brasil, as indústrias cerâmicas que produzem a chamada cerâmica vermelha apresentam pequenas evoluções em termos de modernização e de melhorias de produtos e processos, capacitação de trabalhadores, investimento em melhorias de processos, reflexos da estrutura das empresas que, em sua maioria, são micro e pequenas empresas de administração familiar. Sendo assim, a indústria de cerâmica vermelha é caracterizada pelo atraso tecnológico, baixa qualidade dos produtos, baixa produtividade, baixo nível de escolaridade dos trabalhadores, a quase inexistência de laboratórios nas empresas e a não utilização de normas técnicas para apoio à produção (ABC, 2003).

Dentre a variedade de telhas cerâmicas que existem no mercado citam-se as telhas do tipo francesa, colonial, plan, romana, plana, germânica e outras. Elas são produzidas a partir de argilas que são conformadas e queimadas para produzir o tipo de telha desejada. Em geral, exige-se que as telhas possuam as seguintes características:

- Ausência de fissuras, esfoliações, quebras, rebarbas que prejudiquem o acoplamento ou outra característica desejada;
- Queima adequada e uniforme;
- Elevada resistência mecânica, destacando-se a resistência a flexão;

- Baixo peso específico;
- Uniformidade de formas, dimensões e coloração;
- Baixa porosidade e impermeabilidade;
- Arestas finas
- Superfícies sem rugosidade.
- Microestrutura homogênea, com granulação fina;
- Não apresentar manchas ou eflorescências;
- Resistência ao fogo;
- Além destes, quando suspensas por uma extremidade e tocadas por um objeto metálico, devem produzir um som metálico semelhante ao de um sino. Este som significa que a telha foi adequadamente queimada e não possui trincas ou rachaduras.

Dentro da idéia de normatizar a qualidade das telhas nacionais, surgiram algumas normas técnicas, que são as seguintes:

- NBR6462/NB54 de 03/1987 (ABNT, 1987) – Telha cerâmica tipo francesa e romana – determinação da carga de ruptura à flexão;
- NBR7172 de 03/1987 (ABNT, 1987a) – Telha cerâmica tipo francesa;
- NBR8038 (ABNT, 1987b) – Telha cerâmica tipo francesa – padronização de formas e dimensões;
- NBR8947/NB2133 de 07/1985 (ABNT, 1985) – Telha cerâmica – determinação da massa e da absorção de água;
- NBR8948/NB2133 de 07/1985 (ABNT, 1985a) Telha cerâmica – verificação da impermeabilidade;
- NBR13582 de 02/1996 (ABNT, 1996) – Telha cerâmica tipo romana – determinação das características dimensionais (especificação);

Para os outros tipos ou características de telhas, como àquelas relativas ao tipo de recobrimento, a padronização depende de normas internas dos fabricantes.

Mais especificamente em relação à produção de telhas, as normas técnicas existentes referem-se à qualidade da telha cerâmica, independente do tipo de

acabamento ou recobrimento que ela passe após a queima. Como não há especificação em norma, também não existem ensaios normatizados da qualidade dos acabamentos ou recobrimentos utilizados nas telhas. Apesar disso, os fabricantes, através de propaganda, divulgam benefícios e oferecem garantia dos acabamentos e dos recobrimentos. Porém, surgem alguns problemas:

- Oferecimento de garantias sobre qualidade ou características não testadas de um produto;
- Mesmo que vários fabricantes façam testes e ensaios para verificar determinada característica ou qualidade, não há como comparar os diversos resultados dos ensaios, se os procedimentos para execução deles não são padronizados.

Estes dois problemas dificultam que o consumidor faça comparação entre a qualidade dos diferentes produtos, impossibilitando que o consumidor exerça seus direitos, restringindo principalmente o direito de escolha, que tem como base a comparação entre produtos.

Dentro deste quadro, observa-se que existem ensaios e especificações para as características mecânicas e dimensionais das telhas, porém atualmente no mercado existem telhas com recobrimentos superficiais, aplicados para melhorar algumas características, principalmente aquelas associadas à estética do produto. Os principais recobrimentos utilizados nas telhas são os seguintes:

- Esmalte cerâmico: O recobrimento utilizado para telhas é obtido a partir da aplicação de fritas sobre o corpo da telha. Após a aplicação, a telha esmaltada é levada ao forno (processo de monoqueima) ou a telha é queimada e posteriormente aplica-se o esmalte, levando-se a telha novamente ao forno (processo de biqueima);
- Resina de poliéster: após a telha ser queimada, a resina de poliéster é aplicada e a telha é levada a uma estufa para que a resina se espalhe e torne-se aderida à superfície da telha;
- Resina acrílica: é aplicada posteriormente à queima da telha, com a utilização de pincel e pistola de ar comprimido, como uma tinta;

- Silicone: é aplicado posteriormente à queima da telha, com a utilização de pincel e pistola de ar comprimido, como uma tinta.

Os vários produtores de recobrimento das telhas cerâmicas recobertas anunciam qualidades positivas de seus produtos, até como superiores aos demais, porém não há testes ou ensaios padronizados que comprovem estas qualidades. Desta forma, o consumidor acaba sem ter como fazer análises comparativas entre os diferentes produtos.

Dentre as qualidades anunciadas, cita-se:

- Inexistência de gretamento (resinas e silicões);
- Total impermeabilização das telhas (todos os recobrimentos);
- Resistência às variações térmicas (resinas e silicões);
- Resistência ao risco e a abrasão (esmaltes);
- Durabilidade (todos os recobrimentos);
- Facilidade de limpeza devido à resistência contra manchamentos;
- Aderência à superfície das telhas (todos os recobrimentos).

A resistência ao risco ou a abrasão é necessária para dimensionar os defeitos provocados por instaladores ou mantenedores do telhado quando se deslocam sobre ele para executar serviços. Estes profissionais quando caminham sobre as telhas, devido à presença de partículas de poeira ou grãos de areia sob os pés, ou mesmo os atritos com materiais ou ferramentas tendem a provocar abrasão ou riscamento do recobrimento.

A durabilidade se refere à qualidade daquilo que é durável. Um produto durável é aquele que mantém inalteradas as suas características com o passar dos anos. As telhas são produtos utilizados na cobertura de habitações, que normalmente requerem durabilidade para um longo período de tempo. Os fabricantes de telhas costumam anunciar garantia de 10 anos.

Gretamentos são pequenas fissuras que ocorrem no recobrimento da telha, principalmente, quando estes recobrimentos têm como base esmaltes cerâmicos. Os gretamentos podem favorecer a penetração de umidade ou acúmulo de

sujeiras. Quando os gretamentos tornam-se excessivamente visíveis, prejudicam a aparência do produto.

A penetração de umidade pelas fissuras do revestimento pode fornecer a infiltração para a base (concentração de umidade por longos períodos, aprisionado sob o revestimento).

A resistência à variação térmica torna-se necessária devido ao fato das telhas serem utilizadas expostas às condições climáticas adversas, que envolve variações de temperatura consideráveis quando se toma como extremos a radiação térmica solar ao meio-dia num dia de verão até ventos frios e geada numa madrugada no inverno. As variações térmicas podem ser superiores a 50°C. Caso o revestimento não tenha resistência às variações térmicas, podem ocorrer fissuras e gretamentos ou mudanças das características do revestimento.

As telhas quando sujeitas ao tempo, ao céu aberto, sofrem o acúmulo de impurezas como poeiras, argilas, fezes de pássaros, resinas de árvores, limos e carunchos. Por isso, outra qualidade desejada para o revestimento é a facilidade de limpeza, que garante que estas impurezas serão removidas facilmente. Esta qualidade deve garantir também que os detritos não penetrem na superfície do revestimento, alojando-se em poros, ou provocando o manchamento do material.

O revestimento deve aderir à superfície da telha não podendo descolar ou perder a aderência sobre a base, que no caso é a telha. A perda de aderência total ou parcial do revestimento descobre a base da telha, prejudicando sua qualidade estética.

2. JUSTIFICATIVA, OBJETIVOS E HIPÓTESES

2.1 JUSTIFICATIVA

O lançamento do Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat - PBQP-H (Ministério do Estado do Planejamento e Orçamento, 1998), com o objetivo de diminuir desperdícios e melhorar a qualidade na habitação, conduziu a uma série de acordos setoriais e com órgãos de financiamento da construção civil, através dos quais as obras financiadas por estes órgãos só poderão utilizar produtos com qualidade certificada. Os organismos de certificação credenciados pelo INMETRO efetuam a certificação de produtos mediante a aprovação em ensaios de laboratório independente para assegurar a conformidade destes produtos com as normas técnicas vigentes.

As telhas cerâmicas são componentes utilizados para coberturas de imóveis, empregadas em todas as regiões do país. Estes produtos apresentam variadas formas e características técnicas. Além das variações de forma e tamanho, são produzidas e vendidas telhas com diferentes tipos de recobrimento ou impermeabilização: esmaltadas, com recobrimento de poliéster, acrílicas e silicone. As normas técnicas existentes especificam requisitos para o desempenho mecânico, absorção de água, impermeabilidade, especificações dimensionais e de peso para as telhas cerâmicas. Entretanto, não há especificação para o desempenho do recobrimento superficial das peças. Desta forma, a certificação de produtos com ou sem recobrimentos é feita com base nos mesmos ensaios determinados em norma. A telha certificada, portanto, não oferece ao consumidor, qualquer referência quanto à qualidade do recobrimento ou impermeabilização utilizado na peça cerâmica.

Portanto, a determinação de parâmetros para a avaliação dos recobrimentos superficiais de telhas cerâmicas torna-se necessário para a

elaboração de especificações e normas que regulamentem os produtos oferecidos no mercado.

2.2 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo geral:

“Determinação de parâmetros técnicos e estéticos para a avaliação da qualidade dos recobrimentos superficiais de telhas cerâmicas”.

Este objetivo geral pode ser dividido em três objetivos específicos, que são os seguintes:

- Determinar quais são as características dos recobrimentos superficiais relevantes à aplicação e desempenho de telhas cerâmicas, de acordo com os requisitos dos consumidores;
- Desenvolver e/ou identificar ensaios que permitam a avaliação, mensuração e a comparação entre as diversas características dos recobrimentos superficiais aplicáveis às telhas. Inclui-se aqui desenvolver os procedimentos para execução dos ensaios;
- Executar os ensaios citados no objetivo específico anterior.

2.3 HIPÓTESES

As hipóteses investigadas neste trabalho são as seguintes:

- As características de desempenho dos recobrimentos superficiais das telhas cerâmicas são passíveis de mensuração ou avaliação;
- É possível fazer avaliações comparativas entre as características dos diversos tipos de recobrimentos para telhas cerâmicas;
- Os ensaios realizados com outros produtos, como placas cerâmicas e tintas podem ser aplicáveis aos recobrimentos superficiais utilizados nas telhas cerâmicas.

PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

3.1 PROCESSAMENTO DE TELHAS

Os produtos cerâmicos possuem uma seqüência de processamento bastante semelhante, sendo que no caso específico das telhas é composta das seguintes etapas (Facincani, 2002):

- a) Extração e estocagem de matérias-primas;
- b) Preparação da matéria-prima (matérias-primas e mistura);
- c) Conformação (extrusão, corte e prensagem);
- d) Processamento térmico (secagem e queima);
- e) Controle do produto acabado (acabamento final).

Matérias-primas

Argila, matéria prima natural constituída principalmente de argilominerais, tendo outros minerais como impureza, é formada a partir de fenômenos naturais de degradação das rochas por ações de fraturamento, de transporte e de reações químicas com formação de depósitos dos materiais envolvidos. Esses depósitos com camadas sedimentares de diversas idades geológicas, inclusive atual, formadas pelas ações das águas, vento e gelo, em ambientes terrígeno, glacial fluvial, lacustre ou marinho, e secundariamente como resultado da decomposição de veios e diques pegmatitos, quer por intemperismo, quer por soluções de origem hidrotermal.

As argilas são compostas de aluminossilicatos (hidratados), que durante o processo de aquecimento em temperaturas elevadas reagem adquirindo propriedades específicas de resistência e rigidez.

Os tipos de argilas são numerosos e possuem pontos em comuns e comportamento diferente em presença de água, cada uma delas no seu estado puro, se diferencia das outras principalmente pela composição química diversa e distribuição de tamanho de partículas geralmente inferior a 2 μ m. As argilas mais

empregadas no processamento de telhas são a caulinita, illitas e montimorilonita (Facincani, 2002) (Santos, 1989).

3.1.1 Extração e Estocagem de Matéria Prima

O processo de produção de telhas inicia com a escolha da massa balanceada de várias matérias-primas para que ela apresente comportamento adequado em cada uma das etapas do processo de fabricação e o produto final possua as qualidades desejadas.

Preparação da jazida

Após levantamentos realizados da existência da jazida é necessário e importante conhecer a sua natureza. Algumas amostras são retiradas da argila e levadas ao laboratório para que sejam feitas análises, para se conhecer as principais características da argila (retração, absorção, resistência mecânica, perda ao fogo).

Tendo-se ciência dos resultados das análises químicas elaboram-se planos de extração para tornar fácil e econômico o aproveitamento das reservas para todo tempo previsto. Antes da extração da matéria-prima é necessário realizar uma limpeza da área compreendida para escavação, procedendo-se a remoção superficial do solo, que pode ser de material rochoso ou, mais freqüentemente rico em vegetação e materiais orgânicos. Além de fazer valas para escoamento das águas das chuvas e encostas, é necessário também, abrir vias de acesso para facilitar o transporte do material extraído da jazida (Facincani, 2002).

Extração da argila

Para a extração da argila, que é feita a céu aberto, são utilizados desde meios rudimentares até equipamentos mecanizados de grande produção, como máquinas escavadeiras e tratores, sendo que o porte e a quantidade dos equipamentos são definidos em função do volume do material necessário para atender à demanda da produção.

Estocagem da argila

As argilas empregadas em cerâmica vermelha, como recursos minerais, devem preferencialmente estar situada nas proximidades das indústrias. Desta forma, as distribuições das unidades produtoras são controladas pela ocorrência de depósitos de argilas. Os depósitos de argilas são formados por reservas com qualidade e volume suficientes para atenderem às indústrias cerâmicas. O material recolhido é levado ao depósito, freqüentemente ao lado da fábrica para armazenamento, onde é disposto em montes, respeitando suas características com propriedades desejadas no produto final. Esse material depositado deve sofrer sazonalidade por um período mínimo de seis meses, sendo ideal por um (1) ano de descanso para alcançar os resultados ideais durante o processamento. Nesta fase, a argila estocada a céu aberto, exposta ao processo de intemperismo como sol e chuva, sofre alterações químicas e decomposição, promovendo alívio de tensões nos produtos conformados, auxiliando na plasticidade, na trabalhabilidade, na homogeneização e distribuição da umidade nas massas cerâmicas, beneficiando o processamento posterior da argila. O processo de sazonalidade deverá estar associado à operacionalização, permitindo garantir a produção em épocas de chuvas, quando a extração e o transporte da argila ficam prejudicados. Por isso, é necessário que a quantidade de argila acumulada nos montes seja suficiente para atender à produção (Rodrigues, 2002).

3.1.2 Preparação da Matéria-Prima

A matéria prima, após o sazonalamento, é retirada para dar início a fase de preparação que compreende todos os processos de alterações para depuração, divisão, homogeneização e obtenção da umidade adequada para moldagem. O processo de beneficiamento da matéria prima pode ser realizado por meios naturais ou mecânicos. Sendo que por meios naturais, exigem grandes áreas e tempos longos.

No tratamento por meios mecânicos, que compreende as fases de trituração, peneiramento, amassamento, mistura e laminação, o procedimento mais importante é realizado no amassamento e mistura do material. A função principal das máquinas amassadoras-misturadoras é misturar adequadamente os diversos tipos de argilas em uma composição para proporcionar maior homogeneidade à massa cerâmica. O beneficiamento das argilas é completado com moedores, num processo a seco em britadores de mandíbulas e moinhos de martelo. No entanto, devem-se tomar certos cuidados com estes equipamentos, fazendo-se o monitoramento dos elementos moedores e das grelhas. Durante o amassamento e mistura da matéria prima adiciona-se água à argila, para que se tenha o teor de umidade adequado. Normalmente são utilizados misturadores horizontais com dois eixos que giram em sentidos opostos, com pás inclinadas que favorecem a mistura e o avanço do material.

Adicionalmente emprega-se um equipamento denominado laminador que é constituído por dois cilindros de aço que giram em sentidos opostos, onde a capacidade de retenção desses cilindros laminadores proporciona a desintegração adicional da argila (quebra ou esmigalhamento, batida e estiramento da matéria prima), pois além do efeito da laminação, desenvolvem-se forças de atrito entre os cilindros e as partículas de argila, o que proporciona o refino e maior homogeneidade da massa cerâmica.

O recolhimento do material de uma máquina e a alimentação da sucessiva é confiado às transportadoras com as quais se superam as distâncias horizontais e verticais. O emprego das transportadoras permite o máximo de liberdade no

projeto das linhas de máquinas, como a escolha das posições em relação à disponibilidade de espaço e agilidade de montagem, na manutenção e substituição (Facincani, 2002) (CCB, 2001).

3.1.3 Conformação (Extrusão, Corte e Prensagem)

No processo de fabricação de produtos cerâmicos, a moldagem está intimamente relacionada com o teor de água da argila. Em seu estado natural, as argilas contêm água nos vazios entre as partículas, adsorvida na superfície das partículas e na estrutura cristalina das partículas dos argilominerais. Esta água de plasticidade (água líquida e não líquida) é a quantidade necessária para tornar uma argila suficientemente plástica para ser mais facilmente moldada (Santos, 1989). Por isso, a produção de telhas (pastas duras com umidade de 15% a 20%) e tijolos (pastas brandas com umidade de 25% a 30%), depende muito das características de suas matérias primas. Sabe-se que as argilas são compostas de material argiloso e materiais não plásticos. Os materiais não-plásticos, que são representados por areias, micas, óxidos de ferro e outros, atuam como agentes desplastificantes nas composições, visto que reduzem a plasticidade destas quando misturados com materiais argilosos. As argilas plásticas apresentam boa plasticidade e compactabilidade, mais precisam de uma determinada quantidade de água para desenvolver completamente esta plasticidade e proporcionar elevada resistência mecânica a verde e após queima. Como consequência, o processamento de uma composição contendo excessivamente este tipo de argila torna-se difícil (Santos,1989). Para facilitar o processo de fabricação são introduzidas outras argilas, que apresentam um maior teor de impurezas misturadas aos argilominerais, reduzindo a plasticidade da massa. Esta mistura de argilas afetará as características de qualidade do produto final.

As pastas duras (umidade de 15% a 20%) são empregadas na fabricação de telhas pelo processo de extrusão de uma massa plástica numa câmara de alta pressão, equipada com sistema de desaeração (vácuo) contra um molde (boquilha) de formato desejado tipo bastão, com seção quadrada ou cilíndrica.

Dentre os sistemas conhecidos para extrusão, o com hélice para este tipo de trabalho é o mais utilizado, onde a força necessária é transmitida pela rotação de um eixo helicoidal no interior de um compartimento cilíndrico, permitindo uma boa homogeneização, fluxo contínuo de massa e boa distribuição de pressão na saída do material. Além disso, o sistema de vácuo proporciona a retirada de partículas de ar de dentro da massa cerâmica, melhorando as características de conformação dela. Na saída da extrusora a massa é moldada, expelida de forma contínua e seccionada no comprimento desejado.

Alguns fatores devem ser levados em consideração para a obtenção de um bom resultado no processo de extrusão, sendo o principal deles a garantia de que o material a ser conformado apresente as mínimas variações possíveis, tanto na composição (plasticidade), como na preparação (granulometria) e também quanto ao teor de umidade (Facincani, 2002).

As telhas são conformadas por prensagem a úmido. A fase de conformação por prensagem das telhas é precedida pelas operações de pré-elaboração e de conformação a úmido por extrusão, nas quais são obtidas peças úmidas denominadas de tarugos. Para a produção de telhas normalmente se utiliza uma matéria prima mais plástica e com partículas mais finas do que aquelas com que são extrudados os blocos cerâmicos. Partículas muito finas apresentam boa plasticidade e alto grau de compactação, os canais internos existentes entre as partículas são reduzidos, dificultando a eliminação da água durante o processo de secagem. Com isso, ocorre o aumento do gradiente de umidade no interior do produto, provocando fortes retrações diferenciais e deformações, aumentando as perdas no processo de fabricação. Portanto, para estes tipos de composição, o ciclo de secagem deve ser longo, com aquecimento lento no início.

Os estampos para telhas são constituídos de moldura metálica que deve ser montada rigidamente sobre o tambor da prensa, com tolerância de montagem para o contra-stampo do elemento móvel. A parte interna do estampo, aquela que determina em negativo a forma das telhas, pode ser construída a partir de gesso, borracha até ligas metálicas, com dureza e características particulares, tendo cada uma determinadas vantagens e desvantagens (CCB, 2001).

3.1.4 Processamento Térmico

Secagem

Após a moldagem, as telhas cerâmicas passam obrigatoriamente por um processo de secagem, que tem a finalidade de eliminar a maior quantidade possível da água empregada na mistura. Sob o efeito da secagem todas as argilas apresentam uma retração, que é variável em função do tipo de argila, do teor de umidade empregado na mistura e do grau de adensamento da massa cerâmica. Essa contração é bastante acentuada no início da secagem, reduzindo-se bastante a partir de um determinado ponto.

A secagem pode ser do tipo natural ou forçada. A secagem natural é um processo lento, exige grandes áreas, com exposição das peças cerâmicas ao ar, onde as peças são colocadas em telheiros extensos, abrigadas do sol e com ventilação controlada. Este processo é mais utilizado para pequenas produções ou quando se dispõem de sol o ano todo e mão-de-obra de baixo custo. Dependendo da temperatura ambiente e da ventilação, a secagem natural pode ter uma duração aproximada de até quinze dias (Rodrigues, 2001).

Atualmente a secagem forçada é a mais utilizada, sendo os secadores dimensionados e regulados em função das propriedades da matéria-prima, do tipo de componentes produzidos e das características do processo produtivo.

A secagem forçada pode ser realizada através de secadores semicontínuos (intermitentes), estáticos e contínuos. A temperatura no início da secagem deve ser de aproximadamente 40°C aumentando gradativamente até chegar a 100°C. Temperaturas elevadas no início da secagem serão fontes de trincas, porém temperaturas excessivamente baixas no início da secagem aumentam cada vez mais o ciclo de secagem. Sabe-se que a argila perde aproximadamente 50% da água antes de atingir sua retração máxima, permitindo-se acelerar a secagem depois de obtidos estes valores (Facincani, 2002).

Queima

A queima é a operação mais complexa de todo o processo produtivo. Nesta fase ocorrem profundas transformações na estrutura da argila, que determinam as características do produto final. Assim que o material apresenta a quantidade mínima de umidade (resíduo da secagem) é levado ao forno, que pode utilizar como elemento de queima várias fontes de energia: madeira (serragem ou cavacos), rejeitos de madeira (cascas), óleo, carvão vegetal, carvão mineral e gás natural. O processo de queima é demorado em virtude da umidade residual após a secagem e da grande massa de material no interior do forno.

Dependendo do tipo de forno utilizado para queima (túnel ou Hoffmann) as peças são colocadas em pilhas e distribuídas ao longo do forno, ou em vagões, separadas por espaços vazios, que servem para circular o calor gerado pela câmara de combustão.

Nas fornalhas localizadas nas laterais dos fornos são introduzidos os combustíveis, concentrando as temperaturas de queima. O pré-aquecimento acontece antes da queima, ocorrendo a partir da temperatura ambiente até aproximadamente a 700°C. A zona de queima ocorre entre 700 e 900°C. Na zona de resfriamento, que ocorre após a zona de queima, o produto reduz gradativamente de temperatura por introdução de ar frio.

Os fornos são equipamentos utilizados para o processo de queima e são classificados de acordo com o ciclo de operação, podendo ser intermitentes ou contínuos.

Os fornos intermitentes funcionam em ciclos periódicos de carga, queima e descarga.

Os fornos contínuos funcionam em ciclos de operação de 24 horas/dia, sem necessidade de paradas para carga ou descarga dos produtos (Facincani, 2002) (Rodrigues, 2002).

3.1.5 Controle de qualidade do produto acabado

Normalmente, o controle das peças acabadas é feito na saída do forno, rejeitando-se aquelas que não estão em conformidade com a tonalidade (queimada), lascadas, trincadas ou quebradas, sendo que especificamente no caso das telhas cerâmicas, rejeita-se as que possuem sons amortecidos.

Também, em algumas empresas são realizados ensaios de resistência à flexão, absorção de água, impermeabilidade, empenamento, dimensões nominais e peso, conforme NBR 13582 (ABNT, 1996), para telhas naturais.

3.2 RECOBRIMENTOS PARA TELHAS

3.2.1 Esmaltes Cerâmicos

Os esmaltes cerâmicos são obtidos a partir da aplicação das fritas sobre as telhas. As fritas cerâmicas são vidros preparados e fabricados a partir da fusão de diferentes matérias-primas em temperaturas elevadas e submetidas a um resfriamento rápido em ar ou água, resultando num material não cristalino fragmentado com determinado tamanho de partículas, com a mesma estrutura vítrea.

As fritas devem apresentar as seguintes características:

- Expansão térmica similar ao suporte que vai ser esmaltado;
- Fusibilidade conforme o ciclo de queima;
- Tensão superficial compatível com o uso;
- Amplo intervalo de viscosidade;
- Baixa solubilidade;
- Menor custo possível da matéria prima.

Após a moagem, as fritas são transformadas em partículas com tamanhos normalmente inferior a 40µm, em moinhos de bola à úmido ou a seco, são misturadas, homogeneizadas e depositadas sobre um suporte cerâmico a

verde (caracterizando o processo de monoqueima), onde a massa argilosa que constitui o suporte e o esmalte são queimados simultaneamente em temperaturas elevadas, entre 900 e 1100°C, conferindo uma maior ligação do esmalte ao suporte, maior resistência a abrasão superficial, maior resistência química e mecânica, e uma absorção de água relativamente menor. Permite ainda, produzir peças com qualidades estéticas e desejáveis. O processo de biqueima, onde a queima é realizada apenas no esmalte, porque o suporte já passou processo de queima anterior, possui desvantagens em relação a monoqueima, como maior consumo de energia, maior ciclo de produção e mão de obra intensiva.

A aplicação das fritas resulta em uma camada consolidada de partículas na superfície do suporte. Esta camada muito fina de partículas de fritas é aplicada a massa (suporte), que durante o processo de queima, sinteriza, ocorrendo várias transformações que depois do resfriamento consolida o esmalte sobre o suporte.

Os métodos de aplicação das partículas sobre os suportes cerâmicos antes do processo de queima são realizados de duas formas diferentes: por via úmida e por via seca.

No processo via úmida uma suspensão aquosa é preparada a partir das fritas e de algumas outras matérias primas tais como o filito, talco, caulim e mais alguns tipos de argilas plásticas e não-plásticas. Depois de preparadas, as suspensões são aplicadas sobre o suporte cerâmico, mas antes disso, uma composição de engobe é depositada entre o suporte e o esmalte que tem a finalidade de melhorar a adesão entre eles e podendo também, atuar como filtro contra possível volatilização dos gases. Estes engobes devem possuir tonalidades tendendo ao branco para não interferir na coloração do esmalte, ter boa trabalhabilidade, ter ausência de fase vítrea pelo menos até 1000°C, inércia química, impermeabilidade a líquidos após a queima e uma boa adesão à massa cerâmica após o processo de queima.

O processo via úmida é utilizado mais especificamente para obtenção de recobrimentos cerâmicos de tonalidades brancas ou claras.

No processo via seca, que ocorre após a preparação da superfície do suporte com aplicação de engobe, a composição da mistura da matéria-prima é

realizada por moinhos a seco, onde as fritas obtidas são transformadas em partículas finas com formas e tamanhos ideais para serem aplicadas uniformemente na superfície do suporte cerâmico, previamente recoberto por uma camada de engobe, destinado a reter as partículas. Este processo é considerado pelos fabricantes, como sendo mais econômico que o processo por via úmida, porém a qualidade do produto acabado é inferior aos apresentados por via úmida (Duran et alli, 2002) (Maia, 2003).

No recobrimento de telha (no Brasil) utiliza-se normalmente o processo via úmida e, usualmente, não é aplicado o engobe.

Matérias-Primas Utilizadas para Aplicação de Esmaltes

As matérias primas utilizadas para acabamentos em telhas, podem ser classificadas na sua forma natural, encontradas livre na natureza ou combinadas e, mediante temperatura de fusão, juntas são transformadas em compostos com características ideais para a formação do esmalte (Duran et alli, 2002).

De acordo com a função do esmalte as matérias-primas podem ser classificadas em:

- Formadores que tem a função de formar vidro (óxidos silício, boro, outros).
- Intermediários ou estabilizantes (óxidos alumina, chumbo, outros) tem a função de garantir estabilidade química do esmalte;

- Modificadores ou fundentes como óxido de chumbo, magnésio, cálcio e sódio que tem a função de baixar a temperatura de fusão da mistura das matérias-primas;
- Existem também os elementos acessórios e aditivos (opacificantes, corantes e mateantes) que são introduzidos na formulação dos esmaltes, quando necessário, sempre em quantidades pequenas e com uma função específica, para dar uma tonalidade diferente ao esmalte (óxidos de estanho, zircônio, antimônio, zinco, cromo, ferro, cobre, cobalto, outros) (Maia, 2003).

3.2.2 Tintas para Recobrimento de Telhas

Os recobrimentos ou camadas aplicadas sobre as superfícies das telhas, têm como função principal a modificação da superfície com a intenção de proteção e de incorporar elementos estéticos. No caso das tintas, que é um dos tipos de recobrimentos mais usados, deve ser constituída de um elemento volátil como solventes e também de uma parte sólida, constituídas de pigmentos, resina (material seco) e aditivos (elementos de carga) (Miles, 1975).

Genericamente uma tinta pode ser definida como uma disposição cromática em um meio aglomerante que, ao ser aplicada sobre uma superfície ou substrato, seca-se, formando uma camada termoplástica ou termofixa. A camada termoplástica é aquela cuja reação ocorre espontaneamente, sem a ocorrência de reações químicas entre os seus elementos constituintes. Para a camada termofixa é necessária uma modificação em seus elementos, geralmente feita pela ação de agentes catalisadores. De um modo geral as tintas são formadas de polímeros, elemento cromático, solventes, secantes e aditivos.

Polímero

O polímero ou elemento de suporte ou ligante é um componente da tinta que desempenha uma função de grande importância na formação da camada, pois na sua falta obter-se-ia apenas uma parte de pigmentos e solventes que resultaria, após sua secagem numa pulverulência isenta das propriedades necessárias à estética e proteção do substrato, como retenção da cor, brilho, resistência à ação da água e produtos químicos, dureza, flexibilidade, resistência a abrasão ou risco e adesão, que são governadas basicamente pelo polímero (Fazano, 2002).

Pigmentos

Pigmento na tinta é um sólido com granulometria muito fina, insolúvel na resina da tinta, responsável principalmente pelo comportamento de aparência da camada (cor, brilho, opacidade, transparência) (Fazano, 2002). Na sua formulação, a pigmentação é selecionada com base nos aspectos como cor, opacidade, certas características de resistência, impermeabilidade, bem como poder de cobertura, determinado em função da área coberta por unidade de massa de pigmentos. A área de cobertura é influenciada por fatores como índice de refração, que deverá ser próximo daquele do polímero onde eles são adicionados (quanto maior for o índice de refração de pigmento, maior será o poder de cobertura).

Solventes

O solvente é usado na tinta para modificar a sua viscosidade ou consistência, de maneira a se obter uma aplicação uniforme, tempo de secagem e também o tempo de aplicação (Fazano, 2002). Na fabricação de uma tinta, as principais propriedades do solvente são o peso específico, a inflamabilidade, a capacidade de dissolução, a faixa de destilação (com referência a obtenção), a taxa de evaporação e os aspectos toxicológicos.

Secantes

A qualidade da tinta dependerá em grande parte do correto emprego dos secantes, pois atuam como agentes catalisadores, acelerando o processo de polimerização da camada (Fazano, 2002). Eles são substâncias organométricas, cuja parte orgânica compreende os ácidos naftênicos, octóicos, ligados a metais como ferro, cobalto, zinco, entre outros.

Aditivos

Aditivos são substâncias que, ao serem proporcionalmente adicionadas à formulação, atuam de uma forma complementar ou adjuvante das funções desempenhadas pelos principais componentes sólidos e líquidos da camada, no caso os pigmentos, as resinas e os solventes (Fazano, 2002). Entre os principais aditivos empregados nas formulações de tintas têm-se os dispersantes ou molhantes, que melhoram e facilitam a umectação e a dispersão dos poluentes, os antioxidantes, que inibem a formação de pele, os fungistáticos, que inibem a formação de microorganismos, os antiespumantes e os alastradores, que facilitam a aplicação da camada.

Matérias-primas

As matérias-primas usadas nas tintas e nos esmaltes, tanto podem ser de origem natural como de origem sintética e estão relacionadas diretamente com os tipos de produtos a serem processados, que de acordo com as suas peculiaridades prepara-se às substâncias que vão fazer parte na formulação. Desta forma, as matérias primas podem ser classificadas como elementos de proteção na formação de uma película que revestirá o suporte e de elementos responsáveis pela aparência no acabamento do produto final.

As principais matérias primas são formadas de:

- Polímeros: naturais e sintéticos;
- Elementos de cobertura: corantes e pigmentos;
- Elementos voláteis: solventes e diluentes;
- Elementos auxiliares: antiespumantes, alastradores, coalescentes, fungistáticos, molhantes e secantes.

Polímeros Naturais

São elementos ligantes utilizados na composição das tintas ou esmaltes para recobrimentos, que juntos com os demais constituintes sólidos como pigmentos, aditivos e corantes, são responsáveis pela formação da película protetora do suporte (telha).

Os polímeros naturais são normalmente originários de vegetais, como fósseis, semifósseis e recentes, que serão aplicados como materiais solúveis em óleo ou em solventes.

Os polímeros originários de fósseis e semifósseis são muito semelhantes porque a sua obtenção é realizada da decomposição da matéria orgânica de vegetais e ambas são extraídas do subsolo, no entanto, os fósseis apresentam diferenças relacionadas à dureza, grau de oxidação e composição química, em função de sua idade de fossilização ser superior aos semifósseis (Fazano, 2002).

Os polímeros recentes, a extração da substância é realizada diretamente do vegetal, onde a formação da resina se dá a partir de um corte na casca da árvore, que pode ser provocada por vento, fogo, raios e outras causas. A secreção fluida normalmente perde alguns de seus componentes mais voláteis por evaporação e deixa um resíduo macio. Este resíduo, inicialmente solúvel, se torna insolúvel com o tempo e têm longa aplicação na produção de vernizes, tintas, medicamentos e outros.

Os polímeros originários de vegetais são substâncias que apresentam estrutura química muito complexa, onde estão presentes derivados fenólicos, álcoois, resínicos e seus éteres, ácidos terpênicos e óleos essenciais, responsáveis pelos odores e são classificados conforme o índice baixo ou elevado de ácido e também em função das temperaturas de fusão.

Polímeros Sintéticos

Os polímeros sintéticos são macromoléculas obtidas através de reações químicas entre alguns tipos de substâncias, que normalmente durante o

processamento industrial utilizam calor e catalisadores. O polímero é uma molécula formada por várias unidades de repetição, denominadas de meros (Canevarolo Jr., 2002)

Atualmente nas indústrias, as resinas naturais foram quase totalmente substituídas pelas resinas sintéticas, que se dividem em duas classes termoplásticas e termorrígidas. Quando aquecidas, as resinas termoplásticas podem ser moldadas. As termorrígidas, ao contrário, atingem um estado de rigidez irreversível após o tratamento com calor. As resinas artificiais são empregadas principalmente na indústria de polímeros, vernizes, tintas e similares e fibras sintéticas. Das resinas termoplásticas são originados os acrílicos, os silicones e outros produtos. As termofixas dão origem aos poliésteres e outros produtos.

3.2.2.1 Resinas de Silicone

As resinas de silicone podem ser consideradas como derivadas da sílica, onde grupos orgânicos substituem alguns átomos de oxigênio na sua estrutura química formando, portanto, compostos denominados de organossilixanos, que são polímeros derivados do monômero $\text{Si}(\text{CH}_3)_2\text{-O}$.

As resinas de silicone são geralmente preparadas por processo de hidrólise e autocondensação de compostos organossilícicos conhecidos como clorossilanos. São polímeros de cadeia carbônica da classe dos heteropolímeros, apresentando uma ligação -Si-O- formando a cadeia principal, sendo que as duas outras ligações do átomo de silício são com radicais metis -CH_3 (Canevarolo Jr., 2002).

Devido a sua estrutura química ser formada por cadeias alternadas de átomo de silício e oxigênio, a resina de silicone apresenta características e propriedades particulares, diferentes dos outros tipos de resinas naturais e sintéticas. Os silicones suportam temperaturas de -65°C a 400°C e são usados em inúmeros segmentos da indústria sem perder suas características de impermeabilidade, elasticidade, brilho e, principalmente, em recobrimentos onde

se requer alta resistência ao calor e a intempéries e são também usadas como produtos de secagem (Noll, 1968). Além de serem resistentes à decomposição pelo calor, também são resistentes à água e aos agentes oxidantes.

Atualmente, as resinas de silicone são utilizadas em mais de 5000 produtos. As resinas de silicone são muito usadas como tintas devido a elevada resistência ao desgaste sob ação da intempérie. No segmento da construção civil, o silicone pode ser aplicado em três linhas: selantes, hidrofugantes e aditivos. O selante de silicone é utilizado em vedações da linha sanitária, rejunte de pias, box, banheiras, azulejos e pisos. Quanto a função hidrofugante é utilizado em vedações de tijolos, concreto, telhas, rejuntos e pedras naturais, impedindo a absorção de água e permitindo a saída de vapores. Como aditivo de tintas, o silicone funciona como ligante, reforçando a estrutura molecular, aumentando a aderência da tinta e agindo como antiespumante, evitando a formação de bolhas durante a aplicação.

3.2.2.2 Resinas Acrílicas

Esses polímeros de cadeia carbônica, também chamadas de acrilatos, são obtidas pela esterificação (processo envolvendo a interação de um composto possuindo grupo hidroxila com um ácido, com eliminação de água) dos ácidos acrílico $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CO}-\text{OH}$ e metacrílico $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)-\text{CO}-\text{OH}$ com vários álcoois. A esterificação é o processo que envolve a interação de um composto possuindo grupo hidroxila com um ácido com eliminação de água. As resinas acrílicas termoplásticas ou poliacrilatos são macromoléculas de ésteres acrílicos que, dependendo da sua estrutura química, resultam em substâncias mais resistentes com características próprias de dureza, flexibilidade e resistência à ação de agentes químicos e degradantes. Estas resinas apresentam dureza elevada, em se tratando de polímeros, boa transparência ótica e baixa absorção de água. Também não perdem a cor após a fabricação (Harper, 2001). Por causa de sua estrutura química, as resinas acrílicas são resistentes à descoloração e a perda da transmissividade da luz, quando transparentes. Elas não são superadas nestas

características por nenhum outro plástico. Sua capacidade de resistir ao tempo é constatada pelas suas aplicações, que incluem lentes de faróis automotivos, luminárias fluorescentes, luminosos e pára-brisas de barcos. As resinas acrílicas podem ser moldadas por injeção, por extrusão, a vácuo, por pressão entre outros processos utilizáveis (Harper, 2001)

Tintas Acrílicas em Pó

As resinas acrílicas são obtidas através da produção de polímeros por adição de monômeros insaturados. As resinas acrílicas mais importantes são os ácidos acrílicos e metacrílicos e seus éteres. Um copolímero é composto por dois ou mais tipos de meros e, dependendo do processo de copolimerização relativa desses tipos de mero envolvidos, são possíveis diferentes arranjos de formação seqüenciais ao longo das cadeias de polímeros. Se as unidades mero diferentes estão dispersas aleatoriamente ao longo da cadeia, o copolímero é conhecido como aleatório, mas, se as duas unidades mero alternam as suas posições na cadeia o copolímero será designado como alternado. Um copolímero em bloco é composto por meros idênticos que ficam aglomerados em blocos ao longo da cadeia e, finalmente, o copolímero caracterizado por enxerto é quando a cadeia principal do copolímero será formada por um tipo de unidade repetida, enquanto a outra unidade mero forma a cadeia lateral enxertada (Callister, 1994). Portanto, a reação de formação de um copolímero é conhecida como copolimerização e os monômeros envolvidos nesta reação são chamados de comonômeros (Canevarolo Jr 2002).

É comum na copolimerização participarem outros monômeros, tal como ocorre com o estireno que é encontrado freqüentemente na composição de resinas acrílicas.

A maioria das resinas acriladas usadas em tintas em pó possuem grupos glicidina que são responsáveis pela cura através da sua reação com ácidos dicarboxílicos de cadeia longa que proporcionam flexibilidade e resistência ao impacto no respectivo recobrimento. Um problema constatado com as tintas

comercialmente ofertadas como acrílicas é que algumas delas perdem suas características com a ação da luz solar e de intempéries. Estas tintas têm em sua composição radicais de estireno e de vinil. As tintas acrílicas puras são obtidas unicamente da polimerização de radicais acrilatos e possuem grande resistência às intempéries e à luz solar.

3.2.2.3 Resinas Poliésteres

Os poliésteres são grupos de polímeros obtidos por reação de policondensação entre ácidos dicarboxílicos e poliálcoois. Neste tipo de polímero de cadeia carbônica, a característica principal é a ligação do éster $-CO-O-$. Apresentam boa resistência à corrosão e a ação de agentes químicos, sendo empregados como produtos para recobrimentos de telhas cerâmicas e outras aplicações.

As resinas poliésteres podem ser saturadas ou insaturadas. O poliéster saturado é obtido pela reação entre um biálcool e um biácido saturado, resultando num produto termoplástico, cuja cadeia molecular é composta por ligações simples entre os átomos de carbono, o que caracteriza a flexibilidade dos produtos obtidos com este tipo de resina.

O poliéster insaturado consiste basicamente de um polímero alquídic, contendo insaturações dissolvidas em um monômero reativo, normalmente de estireno. É obtido pela reação entre um ácido insaturado, um ácido saturado e um biálcool, resultando num produto termofixo, cuja cadeia molecular é composta por simples e duplas ligações entre os átomos de carbono.

As resinas de poliéster podem ser formuladas para ter uma faixa de propriedades que variam desde frágil e duro até macio e flexível. A viscosidade na temperatura ambiente pode variar desde 50cP até valores superiores a 25.000cP. Desta forma, estas resinas podem ser utilizadas para a fabricação de milhares de produtos através de diversas técnicas fabris como moldagem em molde aberto, laminação manual, pulverização, moldagem a vácuo e moldagem por injeção (Harper, 2001).

Através da escolha apropriada de aditivos, resinas de poliéster com propriedades especiais podem ser obtidas. Por exemplo: resistência a ação atmosférica pode ser obtida com o uso de metacrilato de metila (Harper, 2001).

As resinas poliésteres insaturadas, dependendo de suas características, podem ser utilizados em ambientes externos ou internos, em pó ou suspensão, como recobrimento de telhas cerâmicas com caráter de proteção, de melhorar a aparência e proporcionar isolamento resultante do intemperismo.

Tintas Poliésteres em Pó

As resinas básicas são poliésteres saturados que são obtidos por meio da poliesterificação de poliácidos ou seus anidridos com poliálcoois, onde os diácidos e os glicóis são os mais comuns (Fazenda, 1993).

Existe uma grande variedade de poliácidos e poliálcoois disponíveis para a formulação de poliésteres adequados para tinta em pó. Na sua maioria, são as mesmas matérias-primas usadas em poliésteres saturados e insaturados convencionais e para resinas alquídicas. Esta enorme variedade permite a formulação de poliésteres adequados para que se obtenha tintas em pó com propriedades características requeridas.

Quanto à forma de reticulação (reticuladores são produtos químicos de baixo peso molecular, adicionado na composição para controlar ou modificar, tanto a reação de formação como também melhorar suas propriedades), a cura das tintas em pó a base de poliéster podem ser classificadas em diferentes tipos:

- Tintas em pó do tipo híbrido: a cura é obtida através de reação da resina poliéster com resina epóxi, na temperatura de 180° C a 200° C.
- Tintas em pó tipo poliéster puro: a cura é feita com triglicidil-isocianurato, que é um composto químico dotado com três grupos glicidila por molécula. As propriedades mais importantes deste tipo de tinta são: excelente estabilidade ao calor e a luz, excelente resistência ao intemperismo, excelente aspecto do acabamento (brilho e recobrimento) e excelente

adesão e flexibilidade. Porém, a resistência química é inferior à dos tipos epóxicas, com temperatura de cura de 180° a 200° C.

- Tintas em pó poliuretânicas: neste caso, a reticulação é conseguida através da reação do poliéster com um poliisocianato bloqueado. As tintas em pó poliuretânicas também podem ser constituídas por uma resina acrílica e um endurecedor poliisocianato bloqueado, não sendo tão comuns quanto as baseadas em poliéster.

A temperatura de cura é de 190° C – 15 minutos, 200° C – 10 minutos e 210° C – 8 minutos.

Tintas em Pó baseadas em Poliéster-Hidroxiálquilamidas

Algumas dialquilamidas hidroxiladas podem ser usadas como agentes reticulantes de poliésteres carboxilados em substituição ao triglicidil-isocianurato (tgic). Os recobrimentos obtidos por este tipo de poliéster apresentam excelentes resultados em termos de resistência química, brilho, nivelamento, resistência à água e a detergentes (Fazenda, 1993).

3.3 NORMAS APLICÁVEIS AOS RECOBRIMENTOS

Na investigação de normas técnicas aplicáveis, encontrou-se as seguintes normas aplicáveis aos diversos tipos de recobrimento utilizados nas telhas e em outras aplicações, entre as quais:

- NBR 15077 (ABNT, 2004) Trata do método para avaliação de desempenho de tintas para edificações não industriais, principalmente a determinação da cor e da diferença de cor por medida instrumental. O método estabelecido por esta norma tem a função de determinar a cor ou a diferença de cor entre as superfícies pintadas, não fluorescentes, através da medida instrumental, visando avaliar o desempenho das tintas utilizadas nas obras de construção civil.

- NBR 15078 (ABNT, 2004a) trata da determinação da resistência a abrasão úmida sem a utilização de pasta abrasiva para uma película seca de tinta.
- NBR 15079 (ABNT, 2004b) especifica os requisitos mínimos de desempenho de tintas para edificações não industriais (tinta látex econômica nas cores claras), considerando que as tintas látex econômicas correspondem ao menor nível de desempenho de uma tinta látex, quando utilizada como acabamento. Este desempenho se refere à resistência a abrasão úmida sem pasta abrasiva (mínimo de 100 ciclos), poder de cobertura de tinta úmida com razão de contraste mínimo de 55% e poder de cobertura de tinta seca de quatro m²/litro no mínimo.
- NBR 13818 (ABNT, 1997) que trata das placas cerâmicas para recobrimento, que especifica os ensaios e seus métodos para verificação da qualidade de pisos e azulejos. Entre os ensaios relacionados estão: análise visual, resistência à abrasão superficial, resistência ao ataque químico, resistência a abrasão profunda, resistência ao gretamento, resistência ao manchamento, resistência ao choque térmico, entre outros. Esta norma apresenta ensaios não somente para os recobrimentos utilizados sobre pisos cerâmicos, mas também ensaios para a base ou biscoito cerâmico.
- Norma ASTM G53 (ASTM, 1991), um ensaio de envelhecimento acelerado, trata dos procedimentos de simulação de condições de intempéries através da utilização simultânea de lâmpadas fluorescentes de ultravioleta e água para simular a exposição à luz solar e a chuva e orvalho. Ela é limitada os procedimentos de obtenção, medição e controle das condições de exposição. Com a aplicação destes procedimentos, pode-se verificar o que ocorre com os materiais quando expostos à luz solar e às condições de umidade, mais rapidamente do que ocorreria na natureza.
- AS/NZS 4456.10:2003 (AS/NZS, 2003) trata dos métodos de ensaio para determinação da resistência ao ataque salino (salinidade) de placas cerâmicas. Esta norma estabelece ciclos de exposição ao ataque salino e os critérios de classificação dos corpos de prova ensaiados.

Conforme levantamentos realizados, não foi encontrada nenhuma norma para regulamentar os recobrimentos para uso específico em telhas cerâmicas, pintadas, resinadas e esmaltadas. O que existe na realidade são normas internas das empresas, de uso restrito, criadas aleatoriamente e não padronizadas pelos fabricantes para controlar os seus produtos visando torná-los mais competitivos. Por isso, torna-se necessário a criação de mecanismos de adaptação a partir de normas existentes. Estas normas, que são utilizadas na especificação dos recobrimentos de produtos como azulejos e pisos, poderão ser adaptadas e utilizadas na determinação dos possíveis parâmetros de avaliação dos recobrimentos aplicados nas telhas cerâmicas.

4. Materiais e Métodos

4.1 Pesquisa Prévia

Para determinar as características desejadas das telhas cerâmicas e compará-las com as características positivas anunciadas pelos fabricantes, realizou-se uma pesquisa entrevistando vendedores, construtores, engenheiros, arquitetos e consumidores finais, totalizando 20 pessoas pesquisadas. Esta pesquisa foi realizada no período de março de 2005 a abril de 2005 e compreendeu a aplicação de um questionário que lista algumas características das telhas cerâmicas e questiona o grau de importância delas. O questionário pode ser visto no Anexo I.

O resultado da pesquisa apresentados nas Tabelas 4.1 a 4.3 e respectivamente pelas Figuras 4.1 a 4.3, proporcionou o direcionamento sobre quais características são as mais desejadas nas telhas cerâmicas. Como consequência, permitiu selecionar quais ensaios são necessários para que as características desejadas sejam verificadas.

Tabela 4.1 – Resultado da pesquisa quanto aos aspectos tecnológicos desejados nas telhas.

Aspectos Tecnológicos	Muito importante	Importante	Pouco importante	Não sabe ou não opinou
Impermeabilidade	90%	5%	5%	0%
Resistência mecânica a flexão	75%	25%	0%	0%
Resistência ao empenamento	75%	25%	0%	0%
Uniformidade de formas e dimensões	75%	25%	0%	0%
Resistência a variações térmicas	65%	25%	5%	5%
Isolamento térmico e acústico	60%	30%	10%	0%
Resistência ao fogo	50%	40%	10%	0%
Inércia química (resistência ao ataque químico)	35%	55%	10%	0%
Resistência a abrasão	25%	40%	35%	0%
Baixo peso específico	25%	50%	20%	5%
Resistência ao risco	15%	40%	40%	0%

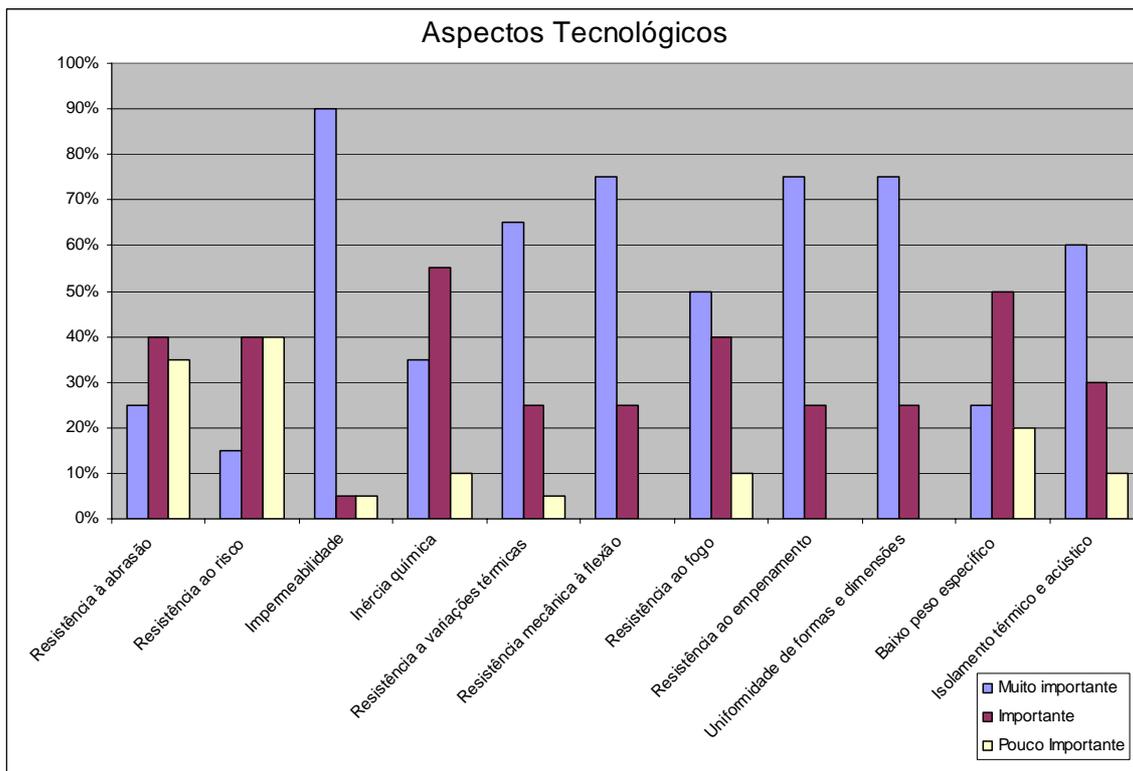


Figura 4.1 - Aspectos tecnológicos desejados pelos consumidores para as telhas.

Tabela 4.2 – Resultado da pesquisa quanto aos aspetos estéticos desejados nas telhas.

Aspectos Estéticos	Muito importante	Importante	Pouco importante	Não sabe ou não opinou
Ausência de lascamento	80%	20%	0%	0%
Resistência ao manchamento	80%	15%	5%	0%
Queima adequada e uniforme	75%	25%	0%	0%
Acabamento	65%	30%	5%	0%
Ausência de quebras	65%	35%	0%	0%
Ausência de rebarbas	65%	35%	0%	0%
Ausência de eflorescência	60%	30%	10%	0%
Ausência de esfoliações	60%	40%	0%	0%
Uniformidade de colorações	55%	40%	5%	0%
Superfície sem rugosidades	50%	35%	15%	0%
Textura	40%	50%	10%	0%
Arestas finas e lisas	30%	55%	15%	0%
Cores	15%	55%	25%	5%
Brilho	10%	55%	35%	5%

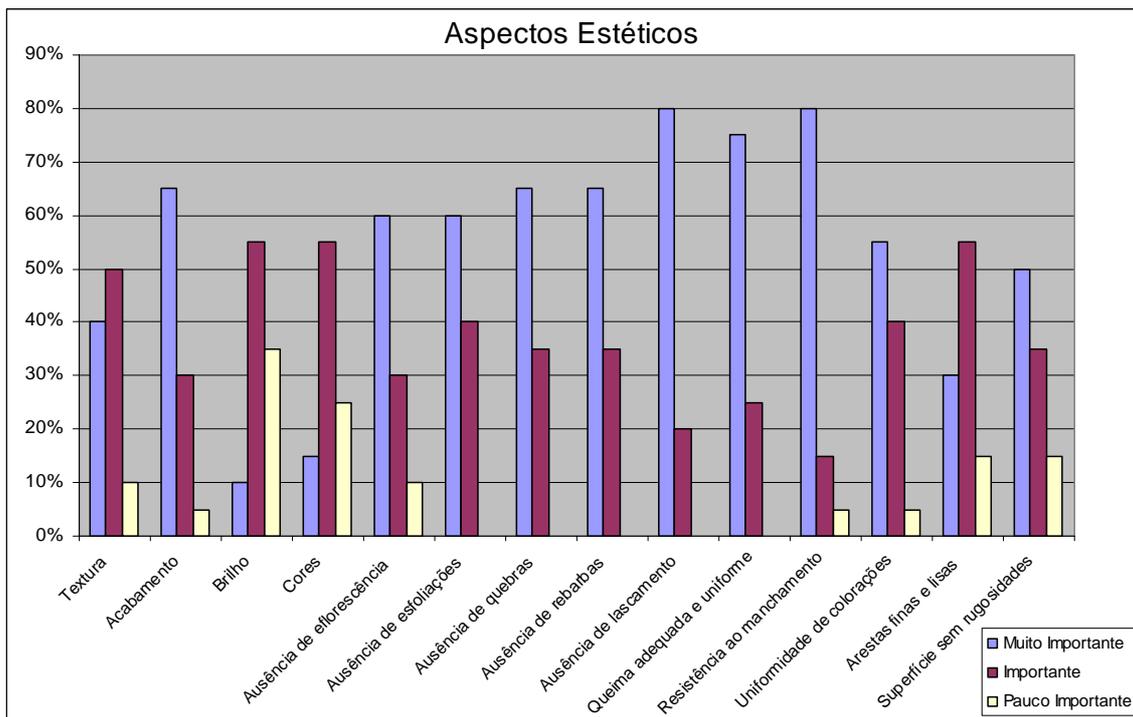


Figura 4.2 –Aspectos estéticos desejados pelos consumidores para as telhas.

Tabela 4.3 – Resultado da pesquisa quanto aos aspetos funcionais desejados nas telhas.

Aspectos Funcionais	Muito importante	Importante	Pouco importante	Não sabe ou não opinou
Durabilidade	100%	0%	0%	0%
Inexistência de gretagem e fissuras	65%	30%	0%	5%
Facilidade de limpeza	55%	45%	0%	0%
Resistência do esmalte à ação do gelo	15%	60%	25%	0%

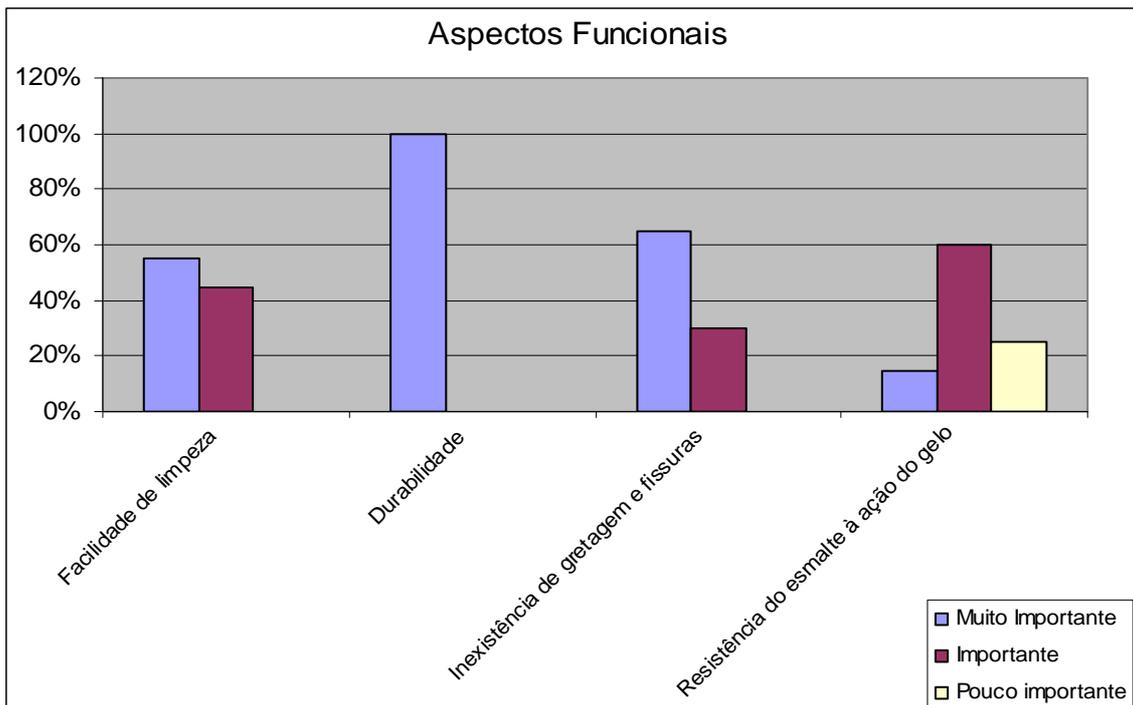


Figura 4.3 – Aspectos Funcionais desejados pelos consumidores para as telhas.

Em relação aos aspectos tecnológicos decidiu-se ensaiar as seguintes características:

- Resistência à flexão;
- Resistência à abrasão;
- Resistência ao risco;
- Impermeabilidade;
- Resistência ao ataque químico;

Os aspectos uniformidade de formas e dimensões, baixo peso específico e empenamento previstos em NBR 13582 (ABNT, 1997), não foram ensaiados, pois quando as telhas cerâmicas sofrem o processo de recobrimento, estes aspectos quase não são alterados. Outros aspectos como, isolamento térmico e acústico, resistência ao fogo, por exemplo, também não foram ensaiados, pois se entende que eles são pouco importantes para as telhas cerâmicas, haja vista, serem elas isolantes e não inflamáveis. O aspecto resistência à variação térmica, por

exemplo, também não foi selecionado, porque está sendo contemplado no ensaio de resistência ao congelamento.

Quanto aos aspectos estéticos, que foram considerados importantes pelos consumidores, optou-se basicamente por realizar os ensaios de análise visual, resistência à salinidade e resistência ao manchamento, que abrangem na sua totalidade as características desejadas pelos entrevistados, isto porque na análise visual o comportamento da superfície de uma peça é uma situação particular de cada usuário, quando referente à textura, brilho, opacidade, uniformidade de cores, e rugosidade. Quanto aos outros aspectos estéticos acabamento, eflorescência, esfoliações, quebras, ausência de rebarbas, queima adequada e uniforme, lascamentos, arestas finas e lisas e superfície sem rugosidade, são provenientes do controle da matéria prima e do processamento inadequado durante a sinterização.

Com relação aos aspectos funcionais, decidiu-se realizar os ensaios de resistência ao gretamento, exposição ao tempo e, mesmo não sendo considerado muito importante para atender as regiões com alternância de temperaturas, fez-se o ensaio de resistência dos recobrimentos à ação do gelo. Quanto à durabilidade de um produto, sabe-se que é ela que garante a manutenção das características com o passar dos anos, enquanto que a facilidade de limpeza, está representada nos ensaios de manchamento e limpabilidade que serão realizados.

Além desses, optou-se por realizar o ensaio de absorção de água que possibilita estimar as condições de queima que denota o aspecto estético – queima adequada e uniforme. Além disso, o ensaio de absorção possibilita estimar as condições de compactação da massa cerâmica ou a porosidade residual, que interfere diretamente na impermeabilidade e na resistência mecânica à flexão, que também são previstos na NBR 13582 (ABNT, 1996).

O levantamento bibliográfico possibilitou a fundamentação teórica para este trabalho. Ele permitiu a compreensão do processo de produção de telhas, o conhecimento das normas nacionais e estrangeiras (AS/NZS, 2003 e ASTM G 53/1991), contendo especificações de desempenho para telhas cerâmicas e tomar ciência de normas e ensaios relativos ao desempenho de recobrimentos

semelhantes utilizados em outros produtos: placas cerâmicas esmaltadas, tintas imobiliárias e industriais. Com a realização do levantamento bibliográfico, tendo-se anteriormente definidas as características necessárias através da pesquisa junto aos usuários, elencou-se os requisitos de desempenho estéticos e funcionais e parâmetros de avaliação usuais para telhas cerâmicas: aparência isenta de defeitos, baixa absorção de água, elevada resistência à flexão, impermeabilidade, elevada resistência ao ataque químico, elevada resistência ao manchamento, elevada resistência à abrasão, elevada resistência ao risco, durabilidade (inalteração do aspecto visual quando da exposição ao tempo), elevada resistência à salinidade e ao congelamento.

Estes requisitos foram analisados, para determinação dos tipos de ensaios mais adequados. Então, fez-se a adequação e a adaptação de ensaios realizados com outros produtos, para a avaliação de telhas cerâmicas com recobrimento ou impermeabilizadas. Todos estes ensaios, com exceção do ensaio de resistência à salinidade, exposição ao tempo e impermeabilidade foram realizados conforme Norma NBR 13818 (ABNT, 1997).

Os ensaios foram realizados nos laboratórios da Cerâmica Portobello S.A. em Tijucas – SC, no SENAI em Tijucas – SC e no Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina – CEFETSC em Florianópolis – SC, sendo custeados pelo próprio autor.

As telhas para as amostras foram adquiridas em lojas de material de construção. As amostras recobertas de poliéster e de esmalte cerâmico foram obtidas a partir de telhas já recobertas e as amostras cobertas com resina de silicone e de acrílico foram preparadas pelo próprio autor, através de processo de pintura, conforme as recomendações dos fabricantes destas resinas.

Os ensaios realizados foram de:

- Análise visual;
- Absorção de água;
- Resistência à flexão;
- Impermeabilidade;
- Resistência ao ataque químico;

- Resistência ao manchamento;
- Resistência à abrasão;
- Resistência ao risco;
- Exposição ao tempo;
- Resistência à salinidade;
- Resistência ao congelamento;
- Resistência ao gretamento.

4.2 Análise visual

A análise visual foi realizada segundo a NBR 13818 (ABNT, 1997). Essa norma define os procedimentos para análise visual da superfície de recobrimentos cerâmicos, estabelecendo padrões mínimos de aceitabilidade, que corresponde à aceitação de no mínimo 95% das peças examinadas a uma distância padrão de observação. As peças para serem aceitas não devem apresentar defeitos visíveis a olho nu, dentre os quais cita-se rachaduras, bolhas, crateras, furos, pintas, trincas, fissuras, riscos, manchas, saliências, cantos e lados lascados, base da telha descoberta por falha no recobrimento, depressões, despontados, incrustações de corpos estranhos, riscados, rebarbas, diferença de tonalidade, crateras, defeitos baixo no esmaltes.

Para efetuar a análise visual foram produzidos corpos de prova a partir de telhas cerâmicas e dispostas num painel montado sobre um cavalete. O painel foi construído com dimensões de 1 metro de altura por 1,20 metros de largura, apresentando 1,20 metros quadrado. Todos os corpos de prova foram fixados no painel e analisados a uma distância de 1 metro perpendicular ao observador. A iluminação foi feita com lâmpadas fluorescentes com temperatura de cor de 6000K a 6500K, para iluminar o painel com 300 lux de intensidade luminosa. Os defeitos encontrados, assim como os percentuais de corpos de prova livres de defeitos, foram registrados. A colocação dos corpos de provas sobre painel e os testes visuais foram realizados por pessoas diferentes.

Apesar desta norma ser específica para análise visual de recobrimentos de placas cerâmicas e devido à inexistência de normas técnicas específicas para telhas com recobrimentos cerâmicos, considera-se que é aplicável para análise visual de telhas cerâmicas. Como para análise de recobrimentos cerâmicos os corpos de prova são preparados nas dimensões 10 cm x 10 cm e 20 cm x 20 cm. Estes corpos de prova foram preparados a partir de telhas cerâmicas do tipo romana, no tamanho original, sob as mesmas condições para análise comparativa dos vários tipos analisados de recobrimento (esmaltadas, poliéster, acrílica e silicone).

4.3 Ensaio de Absorção de Água

As telhas cerâmicas têm certa porosidade, isto é, apresentam poros vazios em sua base. Quanto menor for esta porosidade menor será a quantidade de água que ela pode absorver e melhores serão as suas características técnicas. Estas características serão utilizadas para classificação da qualidade das telhas. Conforme NBR 13818 (ABNT, 1997) que classifica os recobrimentos cerâmicos de acordo com sua absorção de água, quanto menor for a quantidade de água absorvida, maior será a resistência do recobrimento à flexão, ao risco e à abrasão.

A absorção de água é determinada pelo aumento de massa dos corpos de prova, após terem sido submergidos e fervidos em água. A absorção de água é expressa em percentual sobre o peso seco, sendo que os corpos de prova são pesados antes e depois de serem submergidos e fervidos em água.

Para realização deste ensaio foi necessário que os corpos de prova fossem secados em estufa numa temperatura de 110°C, sendo aceitável uma variação de $\pm 5^\circ\text{C}$ para que todos os corpos de prova tenham teores de umidade aproximados.

O recipiente (cuba termostática) utilizado para hidratação dos corpos de prova é de aço inoxidável e o combustível utilizado para aquecimento foi o gás liquefeito do petróleo (GLP) até que a temperatura de ebulição fosse atingida e mantida por 2 horas de permanência (Figura 4.4). Após esta etapa, foi retirada a fonte de calor e deixou-se que as peças resfriassem dentro do reservatório com a

mesma água, até que atingissem a temperatura ambiente. Os corpos de prova foram imersos verticalmente no recipiente dentro de água destilada, de forma que o nível da água estivesse cerca de 10 cm acima dos corpos de prova. Antes de serem colocados dentro do reservatório, os corpos de prova tiveram a massa determinada e foram identificados individualmente.



Figura 4.4 – Recipiente utilizado no ensaio de absorção.

Após isto, iniciou-se o processo de enxugamento suave na superfície dos corpos de prova, com um pedaço de tecido levemente umedecido para não interferir no teor de umidade, os corpos de prova foram pesados e foram anotados os valores para determinar a variação da expansão por umidade e diferença de massa em percentual. Para as telhas com recobrimentos foram feitos ensaios com 5 corpos de provas e para telhas naturais (sem recobrimento) foram feitos ensaios com apenas 3 corpos de prova do mesmo fabricante.

A equação utilizada para determinar a umidade absorvida foi a seguinte:

$$\text{Absorção [\%]} = \frac{(M1 - M2) \times 100}{M1} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde: M1 = massa do corpo de prova seco [g]

M2 = massa do corpo de prova após o ensaio em água fervente [g]

A equação utilizada para cálculo do desvio padrão amostral (s) foi a seguinte:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n - 1}} \quad (\text{Eq. 2})$$

As equações utilizadas para cálculo do limite superior e inferior foram as seguintes:

$$\text{Limite Superior} = \bar{X} + 3s \quad (\text{Eq. 3})$$

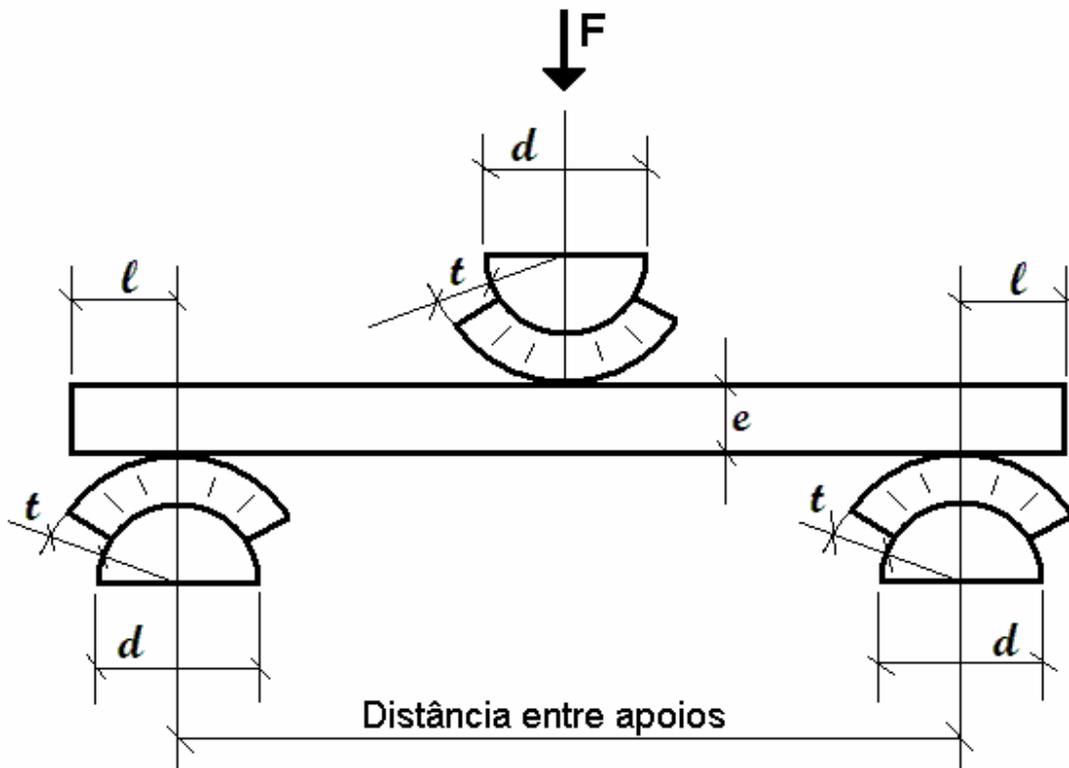
$$\text{Limite Inferior} = \bar{X} - 3s \quad (\text{Eq. 4})$$

4.4 Ensaio de Resistência à Flexão

A resistência mecânica a flexão é aplicada para todos os produtos e matérias primas cerâmicas para controlar a uniformidade dos produtos durante o processo de conformação, controlar a integração peça e esmalte pela diferença entre a tensão de ruptura à flexão do material com ou sem esmalte, para determinar as temperaturas ideais de queima das matérias-primas plásticas ou no controle da tensão de ruptura a várias temperaturas e no controle dos produtos após a queima. Este ensaio foi realizado segundo a Norma NBR 13818 (ABNT, 1997).

Os ensaios da resistência mecânica à flexão consistem em colocar as amostras apoiadas sobre dois cilindros de base e o terceiro cilindro onde a carga é aplicada desce progressivamente e sem golpes, até o ponto médio da distância entre os dois apoios de comprimento menor que a largura do corpo de prova e

articulados de forma a permitir uma boa distribuição de carga, conforme Figura 4.5. O equipamento utilizado pode ser visto na Figura 4.6.



Legenda:

F = força aplicada

l = saliência

d = diâmetro dos apoios

t = espessura da cobertura de borracha

e = espessura mínima do corpo de prova

Figura 4.5 – Desenho esquemático do aparelho para determinar o módulo de resistência à flexão.



Figura 4.6 Deflectômetro – Equipamento utilizado no ensaio de resistência à flexão.

Este ensaio foi executado para determinar a capacidade das telhas de se deformarem sem que ocorra a ruptura. Os corpos de prova foram previamente preparados e colocados numa prensa sobre dois apoios localizados em suas extremidades. Uma força foi aplicada na região central dos corpos de prova. Fez-se ensaio com 3 corpos de prova de cada tipo de telhas com recobrimento. Também foi realizado com as telhas naturais.

4.5 Ensaio de Impermeabilidade

Nos ensaios de impermeabilidade de telhas cerâmicas verificou-se a presença de vazamentos ou a formação de gotas em sua face inferior, conforme a Norma NBR 13582 (ABNT, 1996). Os corpos de provas foram colocados na posição horizontal e na superfície com recobrimento foi utilizado um copo plástico descartável com diâmetro de 35mm e 78mm de altura cujo fundo foi retirado. Este copo foi fixado na região central dos corpos de prova, simulando a exposição a chuvas. Foram utilizados cinco corpos de provas para realização destes ensaios.

Após fixar o copo plástico no corpo de prova com resina epóxi, os copos foram totalmente preenchidos, alguns com água salina e outros com azul de metileno, permanecendo em repouso por 48 horas. Tomou-se o cuidado de manter os copos cheios durante este período. Ao término das 48 horas, verificou-se a presença de gotejamento na superfície inferior, sendo aceitável o surgimento de manchas de umidade.

4.6 Ensaio de Resistência ao Ataque Químico

A resistência ao ataque químico é determinada em função da capacidade que a superfície recoberta das telhas cerâmicas apresenta de não alterar a aparência quando submetidas a determinados produtos químicos padronizados ou não. Este ensaio foi realizado conforme a Norma NBR 13818 (ABNT, 1997).

Os corpos de prova, no total de 5 para cada tipo de recobrimento, foram atacados com hidróxido de potássio (concentração: 30g de hidróxido de potássio para 1 litro de água), ácido clorídrico (concentração: 3%), ácido cítrico (concentração: 100g para 1 litro de água). O tempo utilizado para o ataque químico foi de setenta e duas horas.

4.7 Ensaio de Resistência ao Manchamento

A resistência ao manchamento é a capacidade que as telhas cerâmicas têm de não manter ou reter a sujeira em sua superfície, sendo para isso necessário determinar um produto para executar a limpeza. Como este tipo de ensaio não possui norma para telhas cerâmicas, e a existente para placas cerâmicas NBR 13818 (ABNT, 1997), não atende a realidade dos recobrimentos de telhas cerâmicas, utilizou-se de critérios próprios para a escolha dos agentes manchantes, em função da particularidade de cada região.

Evidentemente, as superfícies mais lisas, terão melhor limpabilidade (devido à ausência de poros), já as superfícies mais rugosas, possuirão maior tendência em reter sujeiras na superfície, tornando difícil a sua remoção. Em geral, as telhas cerâmicas apresentam uma superfície grosseira, tornando-se esteticamente prejudicadas, quando em contato com sujeiras.

Para realizar este ensaio, foram preparados 4 corpos de prova de cada tipo de acabamento, o que possibilitou a análise quantitativa da influência de cada agente manchante. Estes foram ensaiados com 4 agentes manchantes e tentou-se limpá-los com 4 tipos diferentes de produtos de limpeza. Os agentes manchantes utilizados foram cera para sapato de cor preta, que representa os elementos artificiais mais agressivos, com poder maior de aderir às superfícies porosas. O azeite de oliva, o humos e as fezes de aves que representam a matéria orgânica animal e vegetal. Os produtos de limpeza utilizados foram água, detergente neutro, saponáceo cremoso e detergente com cloro ativo.

Os produtos manchantes depois de aplicados permaneceram nos corpos de prova por um período de quarenta e oito horas e então a partir daí, os corpos de prova das peças recobertas foram submetidas a sucessivos processos de limpeza.

4.8 Ensaio de Resistência à Abrasão

O desgaste por abrasão dos recobrimentos é provocado pelo movimento relativo entre duas superfícies em contato, provocando o arrancamento de material e conseqüente alteração nas características dimensionais.

No caso específico dos recobrimentos das telhas cerâmicas, o mecanismo de desgaste predominante é o abrasivo que consiste na remoção de pequenas porções de material da superfície recoberta. Este tipo de desgaste é normalmente provocado pelos ventos, que transportam partículas sólidas (areia) em suspensão, chocando-se com pressão na superfície recoberta, como normalmente ocorre nas áreas litorâneas. Também com maior freqüência ocorre um desgaste relacionado com o transporte e manuseio das telhas cerâmicas, devido ao movimento relativo entre as superfícies das telhas. Com menor freqüência, ocorre outro tipo de desgaste que está relacionado com a manutenção (reposição de peças). Neste caso, o contato ocorre com os pés, sapatos ou sandálias dos profissionais que efetuam a manutenção dos telhados, provocando o arrancamento de material da superfície das telhas.

Independente dos meios envolvidos no arrancamento de partículas da superfície das telhas, o mecanismo de desgaste abrasivo pode ocorrer de duas formas diferentes:

- Mecanismo de desgaste abrasivo entre dois corpos;
- Mecanismo de desgaste abrasivo entre três corpos.

O mecanismo de desgaste abrasivo entre dois corpos caracteriza-se pela maior dureza e rugosidade de uma superfície em relação a outra, onde a superfície mais dura desliza sobre a mais macia promovendo um riscamento com arranque de material.

O mecanismo de desgaste abrasivo entre três corpos caracteriza-se pela presença de partículas duras entre dois materiais, que causarão danos pelo riscamento e arrancamento de material da superfície mais dura, pois há uma tendência, embora temporária, da partícula se incrustar na superfície mais mole, promovendo desgaste da superfície mais dura (Novaes, 2004).

O desgaste abrasivo depende do tipo de mecanismo de desgaste, do tamanho das partículas abrasivas e da carga atuante. A abrasão com partículas finas é suave, sugerindo deformação plástica subsuperficial, porém a abrasão severa com partículas grossas é acompanhada por fratura da superfície.

O desgaste abrasivo proporciona a perda de características da superfície recoberta das telhas cerâmicas ocasionando modificações no aspecto visual, na dureza e na porosidade. As modificações no aspecto visual podem se apresentar da seguinte forma:

- Mudança da cor do recobrimento: neste caso a abrasão aumenta literalmente as microrugosidades da superfície recoberta, de tal maneira que a tonalidade da cor vista pelo olho humano é mais clara que aquela exibida pelo recobrimento antes da abrasão. Por esta razão os recobrimentos escuros perdem o aspecto visual mais facilmente do que os recobrimentos claros;
- Misturas de cores: várias cores distribuídas uniformemente na superfície de um recobrimento ocultam a perda de aspecto por abrasão.
- Brilho do recobrimento: logo nos primeiros estágios da abrasão já ocorre a perda do brilho. Com isto, os recobrimentos que não são muito brilhantes inicialmente, resistem mais à perda de aspecto por abrasão.

A dureza é um fator relacionado à resistência que as telhas cerâmicas oferecem ao risco. No caso das telhas esmaltadas, que possuem uma fase vítrea, essa fase pode ser riscada pela areia (sílica). Na prática, o aumento de resistência à abrasão de esmaltes é obtido pela introdução de partículas cristalinas com dureza maior que 7 (sete) na escala MOHS, ou seja, maior que o da sílica, como silicato de zircônio ou alumina. Onde somente alta dureza não é sinônimo de resistência ao desgaste, é preciso alta tenacidade (Novaes, 2004).

Embora os recobrimentos das telhas possuam uma superfície fechada, elas apresentam uma estrutura porosa. À medida que a superfície é desgastada, estes poros ficam abertos e passam a acumular detritos. Portanto, variáveis como o

tamanho dos poros, a distribuição na matriz e a distância dos poros são importantes para a perda de aspecto por abrasão.

No aspecto visual a influência está relacionada à cor do recobrimento, ao número e grau de dispersão de cores na massa cerâmica e ao brilho da superfície recoberta.

Para proceder aos ensaios de abrasão, realizado segundo a Norma NBR 13818 (ABNT, 1997), utilizou-se 6 corpos de prova para cada tipo de recobrimento. Também, foram utilizados para os ensaios os seguintes materiais:

- Esferas de aço com diâmetro de 5 mm e 70 g de massa;
- Esferas de aço com diâmetro de 3 mm e 52,50 g de massa;
- Esferas de aço com diâmetro de 2 mm e 43,75 g de massa;
- Esferas de aço diâmetro de 1 mm e 8,75 g de massa;
- 3g de óxido de alumina (Al_2O_3);
- 20ml de água destilada.

Os equipamentos utilizados no ensaio de resistência à abrasão estão apresentados na Figura 4.7.



Figura 4.7 Abrasímetro – Equipamento utilizado no ensaio de resistência à abrasão.

4.9 Ensaio de Resistência ao Risco (Dureza)

O ensaio de resistência ao risco mede a resistência da camada superficial do revestimento ao desgaste provocado pelo movimento de objetos que agridem a superfície dos revestimentos das peças cerâmicas. A dureza dos revestimentos é classificada segundo o riscamento provocado através de diversos minerais, desde os mais moles, como o talco com dureza um (1) até o mais duro como o diamante com dureza dez (10) (Tabela 4.4). Portanto, a classificação Mohs de um revestimento é conseguida em ensaios com diferentes tipos de minerais do nível mais baixo de dureza até um que modifique o aspecto superficial de um revestimento. Uma característica do ensaio ao risco é que quanto mais brilhosa

for a superfície do recobrimento, mais suscetível ao risco ela será ou pelo menos o risco será mais facilmente observável.

Tabela 4.4 – Valores de dureza MOHS para os diversos minerais.

Mineral	Dureza Mohs
talco	1
gipsita	2
calcita	3
fluorita	4
apatita	5
feldspato	6
quartzo	7
topazio	8
corindon	9
diamante	10

Este ensaio foi realizado segundo a Norma NBR 13818 (ABNT, 1997), sendo que para realização do ensaio de dureza ao risco, utilizou-se três corpos de prova de cada tipo de recobrimento.

Os materiais utilizados no ensaio de resistência ao risco estão apresentados na Figura 4.8.



Figura 4.8 – Materiais utilizados no ensaio de resistência ao risco.

4.10 Ensaio de Exposição ao Tempo

Visando verificar o comportamento das telhas quando expostas ao tempo, colocou-se dez telhas, em três pontos diferentes do telhado totalizando 30 telhas, expostas ao tempo por doze meses em local sujeito tanto a insolação direta como a insolação parcial devido a cobertura de árvores, sendo, em cada ponto, duas telhas de cada tipo de recobrimento: esmaltadas, naturais, com recobrimento de silicone, de poliéster e de resina acrílica. Como base para a exposição das telhas utilizou-se o telhado de uma residência localizada a 150 metros do mar, estando por isso também sujeito à maresia (Figura 4.9).



Figura 4.9 – Corpos de prova utilizados no ensaio de resistência ao tempo.

Durante o período de permanência das telhas no telhado das residências (1 ano), foram analisadas mensalmente as superfícies, superior e inferior das telhas cerâmicas. Também foi analisado no final de cada período chuvoso o comportamento relacionado à presença de limo, alterações estéticas, aderência de vegetais, aderência de excrementos de pássaros e, principalmente, a presença de umidade na face inferior, cujo resultado está na tabela 5.16.

4.11 Ensaio de Resistência a Salinidade

Este ensaio, também conhecido como potencial de resistência à maresia, visa simular a exposição de telhas ao ambiente salino, como ocorre comumente no Brasil, devido a sua extensa costa marítima. Este ensaio é executado da seguinte forma: uma solução de cloreto de sódio (115g NaCl por litro de água) é preparada para cada tipo de acabamento. Os corpos de prova são preparados e suas rebarbas são removidas com auxílio de uma escova. Então os corpos de prova são secados por 12 horas a uma temperatura de 115°C. Após a secagem, são esfriados a temperatura ambiente por 1 hora e em seguida são mergulhados em solução salina por 2 horas. Estes procedimentos são realizados por 40 ciclos (sendo que a solução foi trocada a cada 10 ciclos): as peças são secas por 12 horas, esfriadas por uma hora e mergulhadas em solução salina por 2 horas. Este procedimento de ensaio foi realizado segundo a Norma AS/NZS 4456.10:2003 (AS/NZS, 2003). Os corpos de prova são classificados como: expostos (que podem ser utilizados em locais de exposição à maresia) se perderem menos que 0,4 g de massa. Em perdas maiores do que estas os corpos de prova devem ser classificados como “uso geral” ou “protegida” (para utilização em locais de uso geral ou em áreas protegidas).

4.12 Ensaio de Resistência ao Congelamento

O ensaio de resistência ao congelamento foi realizado para verificar se o tipo de recobrimento oferecia diferenças, quando sujeito ao ciclo de congelamento e descongelamento, conforme a NBR 13818 (ABNT, 1997) – Placas cerâmicas com recobrimento. Para esse ensaio, os corpos de prova foram secados em estufa a temperatura de 110°C até que as variações de massa, quando medida em intervalos de 2 horas, sejam inferiores a 0,1%. Então, os corpos de prova foram colocados na posição vertical num recipiente com água (campânula de vácuo) para sua impregnação, sendo que o contato entre elas foi evitado. O recipiente foi fechado e o ar foi extraído até que a pressão diminuiu para 60 kPa

(Fig. 4.10). A baixa pressão foi mantida por 15 minutos, após este tempo, a pressão atmosférica foi restabelecida. Os corpos de prova foram ligeiramente enxugados com uma flanela úmida e foram pesados. Então, os corpos de prova foram submetidos a um ciclo de gelo-degelo que consiste em colocá-los uma hora a temperatura de -5°C e 15 minutos em 5°C . Para que os corpos de prova atinjam 5°C eles são imersos em água. Este controle de temperatura foi realizado por um termopar que foi introduzido através de um orifício feito no centro geométrico de um corpo de prova. Este ciclo foi repetido 100 vezes e as alterações nos corpos de provas foram observadas a cada ciclo executado.



Figura 4.10 - Campânula de vácuo e bomba de vácuo para extração do ar e impregnação com água para o ensaio de congelamento.

4.13 Ensaio de Resistência ao Gretamento

O objetivo do ensaio de resistência ao gretamento NBR 13818 (ABNT, 1997) é verificar se o revestimento superficial apresentará fissuras capilares (gretas) quando a peça é expandida por umidade. Para isso, primeiramente utilizou-se corante para verificar se há fissurações ou gretamentos nos corpos de prova antes do ensaio ser realizado, sendo que os corpos de prova que apresentaram gretamento nesta verificação não puderam ser utilizados nos ensaios. Como os corpos de prova foram fabricados a menos de 4 meses, não houve necessidade de fazer a requeima para eliminar a expansão por umidade já ocorrida. Após isso, os corpos de prova foram colocados numa autoclave até que após um período de 1 hora a pressão atingiu o valor de 500 kPa. Essa pressão foi mantida por 2 horas. A autoclave foi desligada e esperou-se atingir o valor da pressão atmosférica, quando isso ocorreu, esperou-se que os corpos de prova esfriassem por mais 30 minutos. Então, os corpos de prova foram retirados da autoclave e colocados por sobre uma mesa, onde esfriaram por mais 30 minutos. Aplicou-se o corante (azul de metileno) e limpou-se as superfícies dos corpos de prova com água, que imediatamente foram secos com uma flanela. Então, observou-se a presença de fissuras ou gretamentos na superfície dos corpos de prova. Como este ensaio visa verificar a formação de fissuras sobre o revestimento superficial dos corpos de prova, ele não foi executado com telhas naturais.

5. Ensaio Experimentais e Resultados

5.1 Análise visual

Após colocados no painel e analisados visualmente, observou-se que apenas 3 (três) dos 30 (30) trinta corpos de prova não apresentaram defeitos. Conforme critérios adotados para recobrimentos de placas cerâmicas, calculando-se os percentuais, obteve-se que 90% dos corpos de provas apresentaram defeitos.

Os defeitos encontrados na superfície dos corpos de prova recobertos com esmalte, poliéster, acrílico e silicone das telhas foram: pequenas crateras, trincas, pequenos furos, bolhas, pequenas manchas claras e escuras, cantos vivos lascados, saliências, riscos, pequenas diferença de tonalidade e incrustações de corpos estranhos.

Conclui-se então que, conforme a Norma ABNT 13818 (ABNT, 1997) que estabelece que 95% dos corpos de provas analisados devem ser isentos de defeitos, os recobrimentos das telhas cerâmicas não estão em conformidade com a norma, podendo as telhas ser consideradas impróprias para uso nas residências, se fossem utilizados os mesmos critérios do recobrimento para placas cerâmicas.

No entanto, sendo que a maioria dos defeitos encontrados está abaixo do recobrimento (suporte), oferece-se como sugestão de adaptação, considerar somente aqueles defeitos que estão aparentes na superfície do recobrimento, ou seja, bolhas, riscos, fissuras, furos e pequenas crateras. Enquanto que os demais defeitos não comprometem em parte a qualidade das peças ensaiadas. Esses defeitos na sua maioria, de cores diversas e dispersas na face das telhas, quando observadas a uma distancia maior, localizadas em áreas diferentes do produto, atuam como sendo cores iguais, não modificando este aspecto. Sob estes critérios, as telhas com recobrimentos possuem qualidades adequadas para uso nas residências.

5.2 Ensaio de Absorção de Água

Os resultados estão apresentados nas Tabelas de 5.1 a 5.6. A Figura 5.1 apresenta um gráfico comparativo dos percentuais de absorção de água dos vários corpos de prova, em função do tipo do revestimento superficial.

Tabela 5.1 - Ensaio de absorção de água da telha natural tipo romana (sem revestimento).

Corpos de Prova	Massa seca [g]	Massa úmida [g]	Absorção [%]
N1	108,86	120,66	9,77
N2	87,03	97,53	10,76
N3	95,68	106,94	10,52

Tabela 5.2 - Ensaio de absorção de água da telha tipo romana esmaltada.

Amostras	Massa seca [g]	Massa úmida [g]	Absorção [%]
E1	197,41	220,70	11,79
E2	207,67	233,85	12,60
E3	66,03	74,66	13,06
E4	77,80	87,83	12,89
E5	93,54	105,47	12,75

Tabela 5.3 - Ensaio de absorção de água da telha tipo romana com revestimento poliéster.

Amostras	Massa seca [g]	Massa úmida [g]	Absorção [%]
P1	198,73	225,63	13,53
P2	178,20	203,48	14,18
P3	84,04	95,70	13,87
P4	87,49	99,62	13,86
P5	86,84	98,76	13,72

Tabela 5.4 - Ensaio de absorção de água da telha tipo romana com revestimento acrílico.

Amostras	Massa seca [g]	Massa úmida [g]	Absorção [%]
A1	184,58	208,68	13,05
A2	180,48	203,37	12,68
A3	90,44	100,98	11,65
A4	96,74	108,24	11,88
A5	79,00	89,18	12,88

Tabela 5.5 - Ensaio de Absorção de água da telha tipo romana com revestimento silicone.

Amostras	Massa seca [g]	Massa úmida [g]	Absorção [%]
S1	197,41	252,90	28,10
S2	207,67	225,75	8,70
S3	65,69	73,85	12,42
S4	105,29	116,94	11,06
S5	99,39	110,61	11,28

Tabela 5.6 – Comparativo dos valores de Absorção de Umidade.

Absorção de Água [%]					
Revestimento	Natural	Esmalte	Poliéster	Acrílico	Silicone
Média	10,35	12,62	13,83	12,43	14,31
Desvio Padrão	0,52	0,44	0,21	0,56	7,00
Limite Inferior	8,80	11,29	13,19	10,75	-6,69
Limite Superior	11,90	13,94	14,47	14,10	35,31

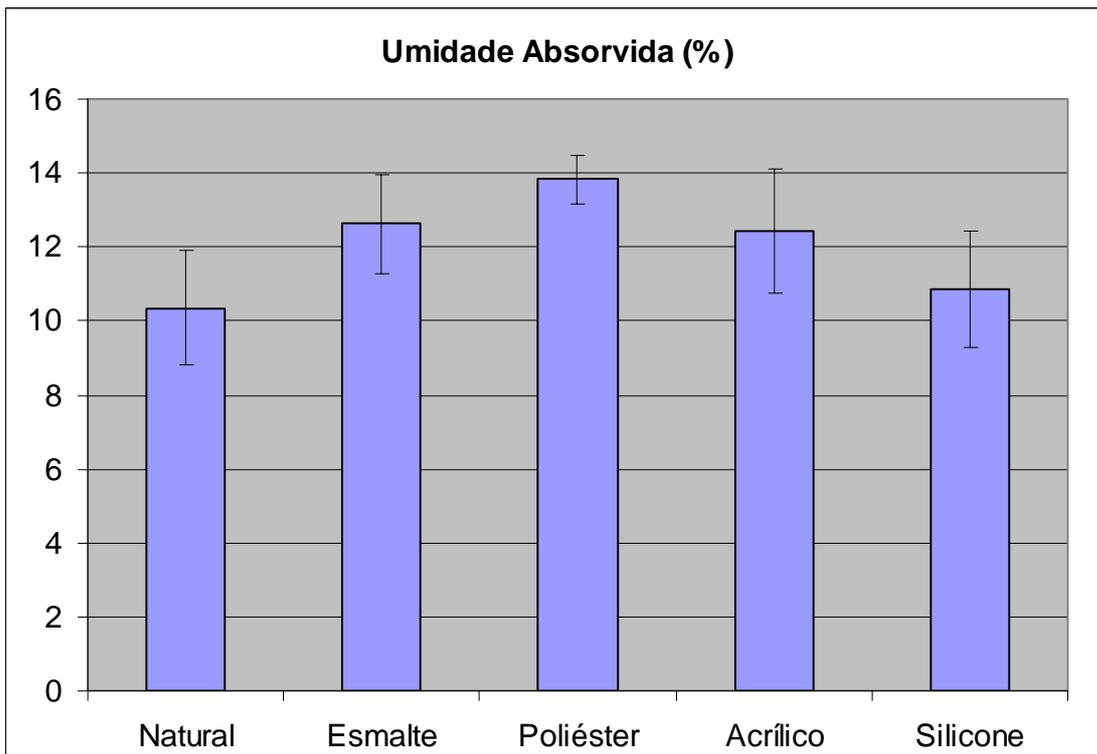


Figura 5.1 – Percentual de absorção de água pelos corpos de prova¹.

Pela comparação dos valores de absorção de umidade dos corpos de prova das telhas, observa-se que os corpos de prova produzidos a partir de telhas naturais ou sem revestimento absorveram menos umidade, enquanto os corpos de prova revestidos com silicone absorveram mais umidade do que os demais. Isto ocorreu porque os corpos de prova de telhas naturais são mais porosas em todas as faces geométricas, não apresentando impedimento para absorver água, sendo o fluxo capilar de líquido contínuo de um lado para o outro. Quando os corpos de prova foram suspensos, esse líquido retido escorreu para a superfície externa. Os corpos de prova ao serem secados com um pedaço de tecido, todo líquido foi retirado. Após isso, foram pesados. Enquanto os corpos de prova com revestimento, em função da impermeabilidade (ausência de poros) em uma das faces, o líquido retido, não conseguiu ultrapassar a barreira da impermeabilidade

¹ Observação: para o ensaio de absorção de água exclui-se a amostra recoberta com silicone com absorção de 28%.

do revestimento. Por isso, seu peso aumentou, algumas dispersões de medidas ocorreram. Os demais corpos de prova produzidos a partir das telhas esmaltadas, poliéster ou acrílicas mantiveram-se em valores semelhantes.

5.3 Ensaio de Resistência à Flexão

Os resultados dos ensaios de resistência à flexão estão apresentados nas Tabelas 5.7 até 5.11 e comparativamente na Figura 5.2. A Tabela 5.12 apresenta um comparativo entre resultados dos ensaios de resistência à flexão para as diversas telhas cerâmicas ensaiadas.

Tabela 5.7 - Ensaio de resistência à flexão das telhas naturais tipo romana (sem revestimento).

Amostras	Espessura [mm]	Largura [mm]	Comprimento [mm]	Carga [MPa]
NP1	11,37	94,08	110	2134,66
NP2	11,35	96,52	112	2241,59
NP3	12,11	98,01	112	2399,53

Tabela 5.8 - Ensaio de resistência a flexão das telhas tipo romana com revestimento esmaltado.

Amostras	Espessura [mm]	Largura [mm]	Comprimento [mm]	Carga [MPa]
EP1	11,98	88,77	122,45	1167,68
EP2	11,21	93,40	111,40	1435,20
EP3	11,20	95,85	123,35	1268,43

Tabela 5.9 - Ensaio de resistência à flexão na telha tipo romana com revestimento poliéster.

Amostras	Espessura [mm]	Largura [mm]	Comprimento [mm]	Carga [MPa]
PP1	12,03	83,23	98,74	1349,86
PP2	11,94	86,07	100,35	1308,65
PP3	11,61	91,97	100,80	1208,59

Tabela 5.10 - Ensaio de resistência à flexão da telha tipo romana com recobrimento acrílico.

Amostras	Espessura [mm]	Largura [mm]	Comprimento [mm]	Carga [MPa]
AP1	11,63	97,87	101,50	1736,37
AP2	11,88	95,00	99,80	1505,84
AP3	11,60	89,35	100,40	1663,78

Tabela 5.11 - Ensaio de resistência à flexão da telha tipo romana com recobrimento silicone.

Amostras	Espessura [mm]	Largura [mm]	Comprimento [mm]	Carga [MPa]
SP1	11,48	90,98	102,20	1601,97
SP2	11,61	104,82	105,70	2162,12
SP3	12,21	100,86	102,71	2324,97

Tabela 5.12 – Comparativo entre os valores de resistência a flexão apresentados pelos corpos de prova.

Resistência a Flexão [MPa]					
Recobrimento	Natural	Esmaltada	Poliéster	Acrílico	Silicone
Média	2258,56	1290,41	1289,03	1635,33	2029,69
Desvio Padrão	133,22	110,26	59,35	117,82	379,25
Limite inferior	1858,80	959,52	1111,08	1281,68	891,93
Limite superior	2658,31	1621,40	1466,99	1988,98	3167,45

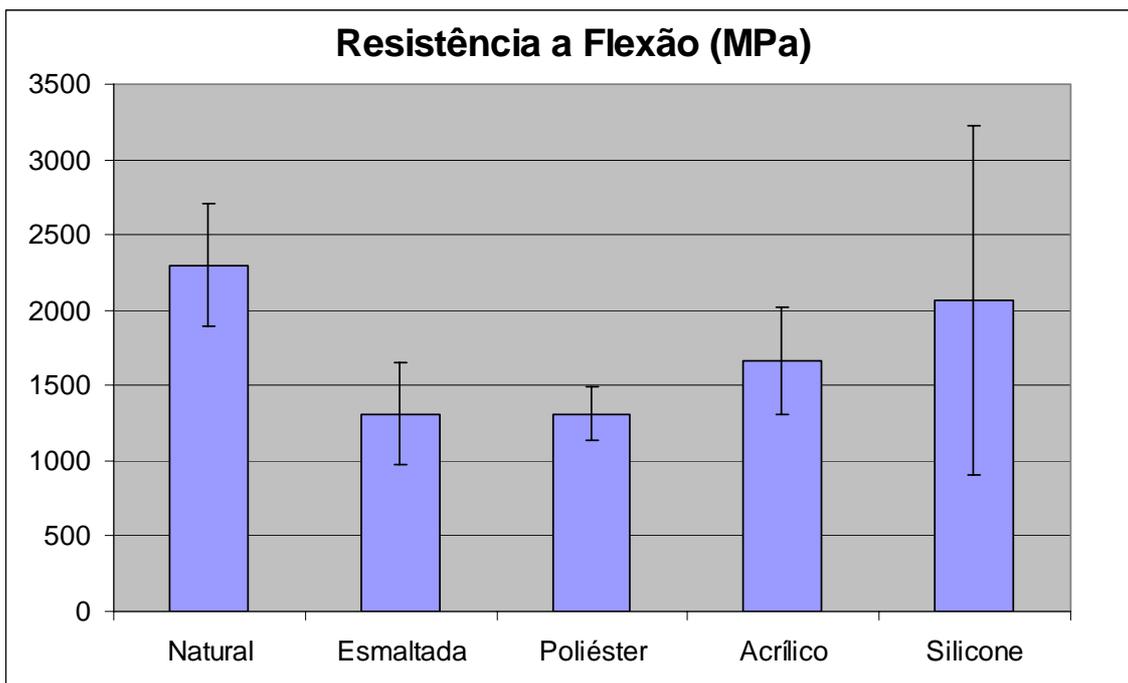


Figura 5.2 – Resistência à flexão de telhas com diversos tipos de recobrimento.

Observando-se os valores apresentados pelos corpos de provas, conclui-se que as telhas com recobrimento de silicone e naturais apresentaram melhores valores de resistência à flexão, embora a de silicone com dispersão elevada, enquanto as telhas esmaltadas e com poliéster apresentaram os valores mais baixos.

Como pode ser verificado na Tabela 5.12, a resistência à flexão aumenta com a diminuição dos valores de absorção de água (Tabela 5.6), pois uma maior densificação do material resulta em menor absorção de água, como de fato ocorreu com as telhas naturais. A telha com recobrimento de silicone teve um comportamento quase idêntico à telha natural, se não ocorresse uma dispersão repentina de uma amostra, que teve redução na resistência à flexão, causada provavelmente por um defeito interno, não visual.

As amostras com recobrimento de poliéster e esmalte cerâmico tiveram um comportamento quase idêntico à situação anterior, como podemos verificar, que ocorreu uma diminuição da resistência à flexão, provocadas provavelmente por trincas superficiais ou pela porosidade da superfície do recobrimento.

Portanto, esses resultados levam a crer que não existe uma homogeneidade da massa cerâmica ou por temperaturas desuniforme dentro do forno.

5.4 Ensaio de Impermeabilidade

Os ensaios que foram realizados com água salina não apresentaram vazamentos (gotas) nas superfícies inferiores das telhas. Já alguns ensaios realizados com azul de metileno, apresentaram infiltração e manchamento na superfície da camada recoberta, conforme descrição abaixo:

- O corpo de prova de telha natural apresentou um manchamento total sem possibilidade de limpeza na superfície sem recobrimento, mas não apresentou gotas na superfície inferior da amostra;
- O corpo de prova de telha esmaltada apresentou os piores resultados de manchamento e apresentou manchamento na superfície inferior. Também possibilitou a identificação das trincas superficiais do recobrimento;
- Os corpos de prova de telha com recobrimento acrílico e recobrimento de silicone apresentaram pequenas manchas superficiais sem penetração dos líquidos;
- O corpo de prova de poliéster não apresentou gotejamento ou manchas, tendo o melhor comportamento.

As fotos da superfície superior dos corpos de provas ensaiadas quanto à impermeabilidade podem ser vistas na Figura 5.3. Nesta Figura, apresentam-se os corpos de prova ensaiados com azul de metileno.

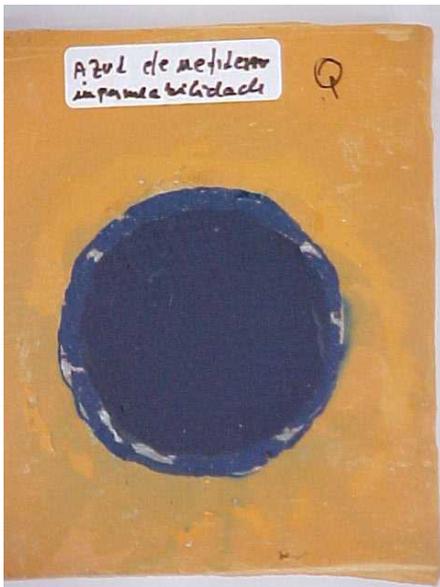
No ensaio de impermeabilidade, as telhas com recobrimentos de esmalte cerâmico obtiveram os piores resultados. Isso se deve à presença de muitas fissuras ou gretas na superfície esmaltada que possibilita a água atravessar a telha por fissuras capilares.

As telhas naturais, por serem porosas, não apresentaram impedimento à penetração de líquido, ainda permitem a comunicação ente os canais internos da

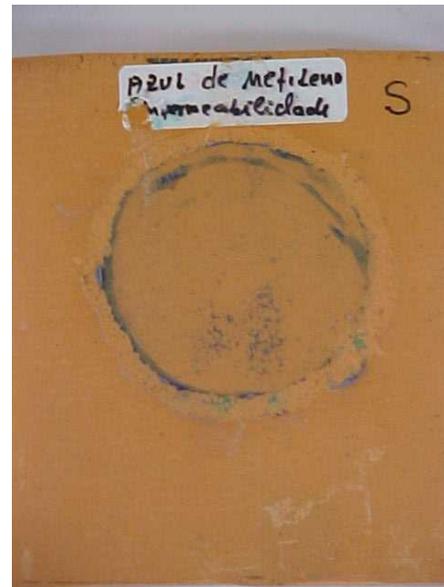
massa de tal modo que o líquido manchou a face inferior da telha cerâmica, mas não ocorreu a formação de gotas.

Nas telhas recobertas com silicone e com acrílico, em função do grau de impermeabilidade, não houve ocorrência de passagem do líquido, porém devido à sua textura superficial observou-se um leve manchamento.

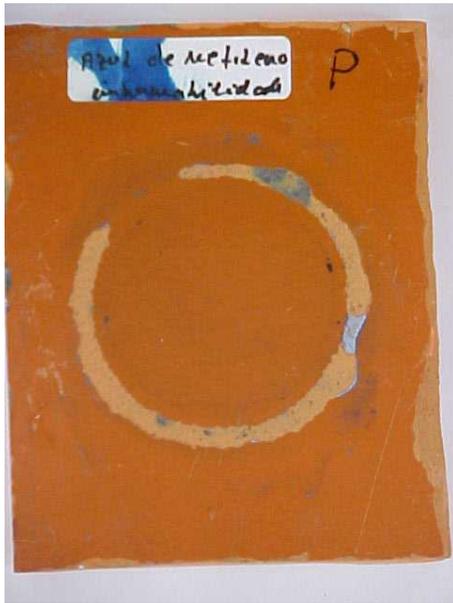
Já a telha com recobrimento de poliéster, por possuir uma superfície lisa ou especular, teve o melhor desempenho, ou seja, não manchou.



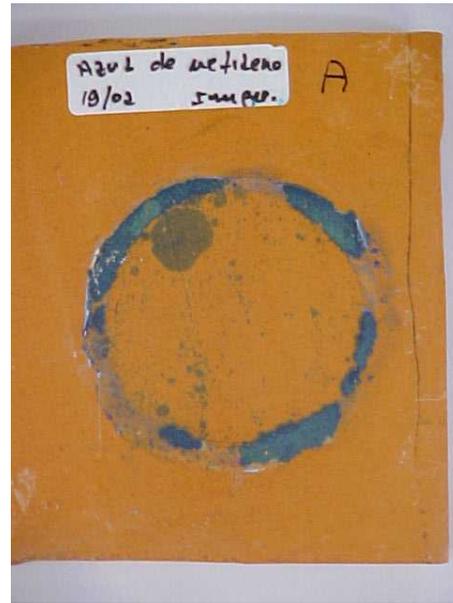
a) natural



b) com recobrimento de silicone



c) com revestimento de poliéster



d) com revestimento acrílico



e) com revestimento de esmalte cerâmico

Figura 5.3 – Corpos de prova utilizados no ensaio de impermeabilidade, corpos de prova de telhas naturais, com revestimento de resina de silicone, de poliéster, acrílica e esmalte cerâmico, respectivamente.

5.5 Ensaio de Resistência ao Ataque Químico

Neste ensaio optou-se por pontuar separadamente cada reagente químico nos diferentes tipos de acabamento da telha cerâmica. Os reagentes químicos são: hidróxido de potássio, ácido clorídrico e ácido cítrico. A avaliação das alterações decorrentes do ataque químico é feita da seguinte forma:

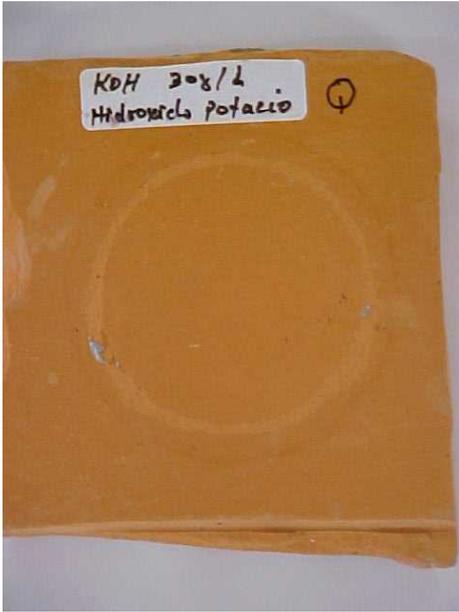
- Houve alteração nas superfícies das telhas: 0 ponto;
- Houve alteração leve nas superfícies das telhas: 1 ponto;
- Não houve alterações nas superfícies das telhas: 2 pontos.

Tabela 5.13 – Avaliação da resistência ao ataque químico.

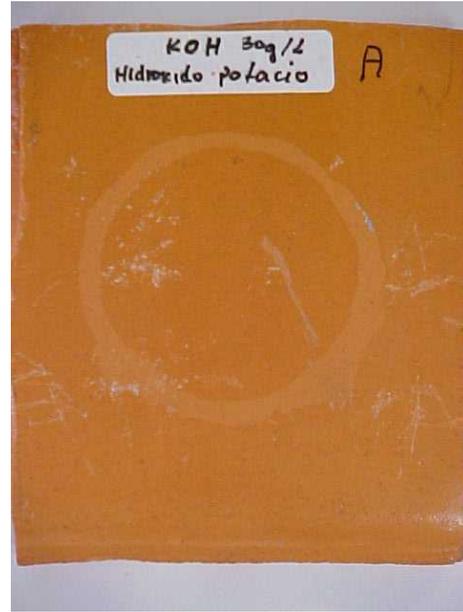
Reagente	Tipo de recobrimento superficial				
	Natural	Esmalte	Poliéster	Acrílico	Silicone
Ácido Cítrico	0	2	2	2	1
Ácido Clorídrico	1	2	2	2	2
Hidróxido de Potássio	2	2	2	2	2
Total	3	6	6	6	5

Conforme Tabela 5.13, quando atacados quimicamente com hidróxido de potássio, apesar deste ser um elemento extremamente corrosivo, não houve alteração nas superfícies dos corpos de prova, não apresentando modificação na tonalidade dos acabamentos. O ataque químico com ácido clorídrico resultou numa discreta mudança na tonalidade da superfície da telha natural. Já o ataque químico com ácido cítrico provocou reações nas superfícies dos corpos de prova de telha natural e uma discreta mudança na tonalidade no recobrimento de silicone.

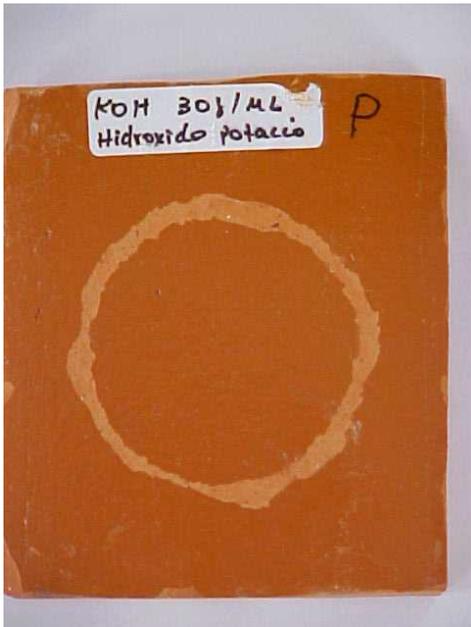
Os corpos de prova que sofreram ataque químico com hidróxido de potássio, ácido clorídrico e ácido cítrico respectivamente, podem ser vistos nas Figuras 5.4 a 5.6.



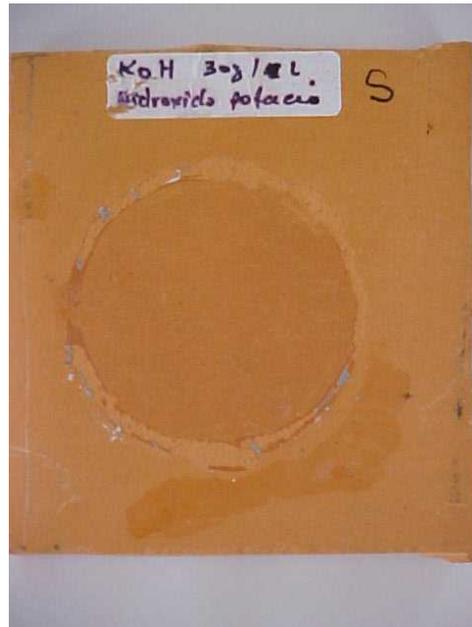
a) natural



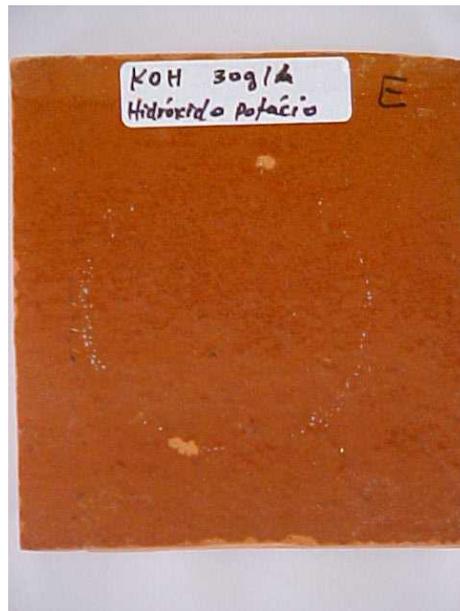
b) com recobrimento acrílico



c) com recobrimento de poliéster

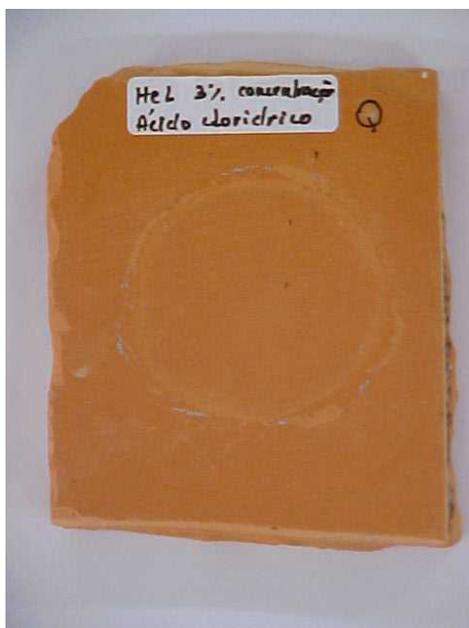


d) com recobrimento de silicone

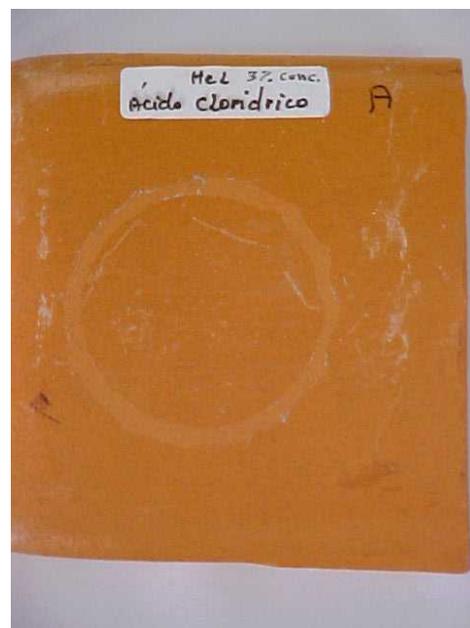


e) com recobrimento de esmalte cerâmico

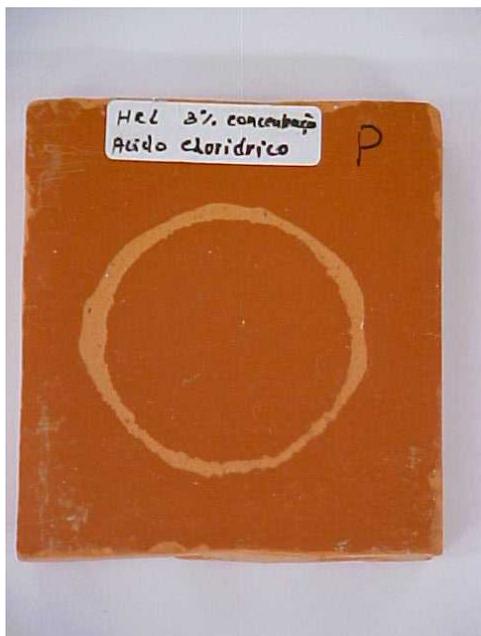
Figura 5.4 – Corpos de prova que sofreram ataque químico com hidróxido de potássio, das telhas natural, com recobrimento de resina acrílica, de poliéster, de silicone e de esmalte cerâmico respectivamente.



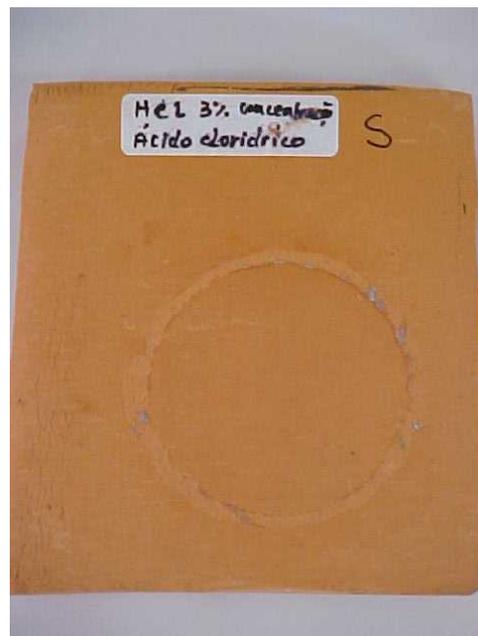
a) natural



b) com recobrimento acrílico



c) com recobrimento de poliéster

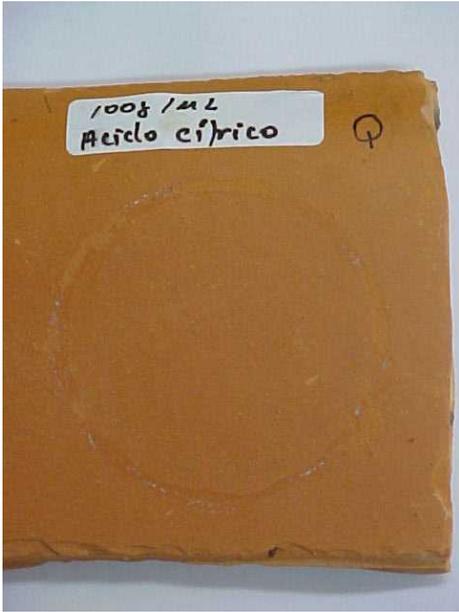


d) com recobrimento de silicone

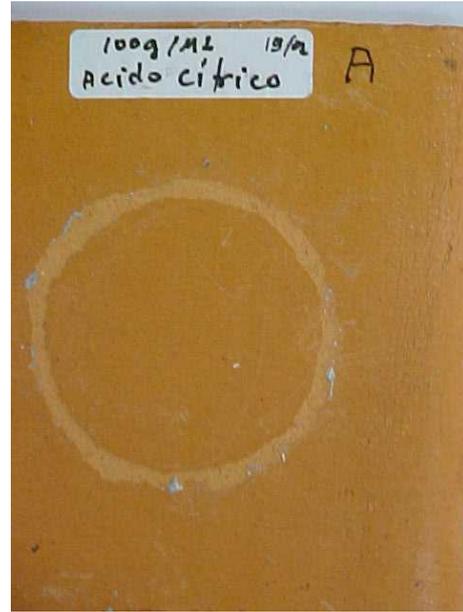


e) com recobrimento de esmalte cerâmico

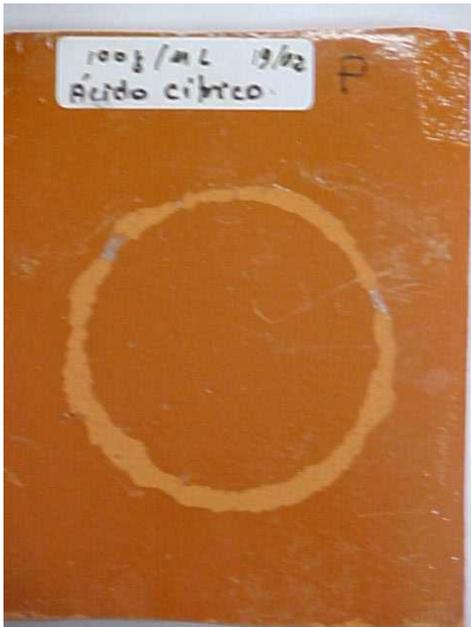
Figura 5.5 – Corpos de prova que sofreram ataque químico com ácido clorídrico, das telhas natural, com recobrimento de resina acrílica, de poliéster, de silicone e de esmalte cerâmico respectivamente.



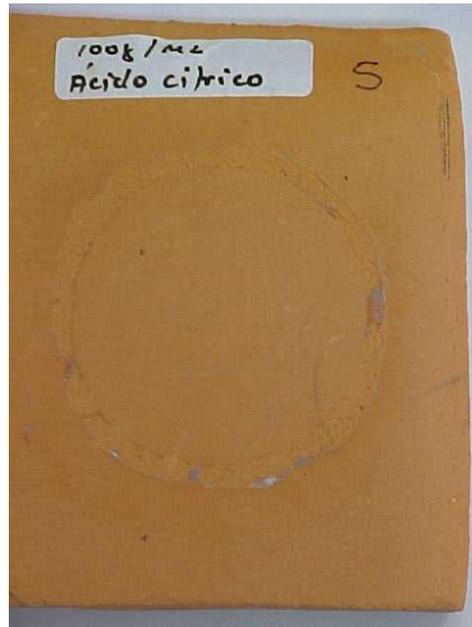
a) natural



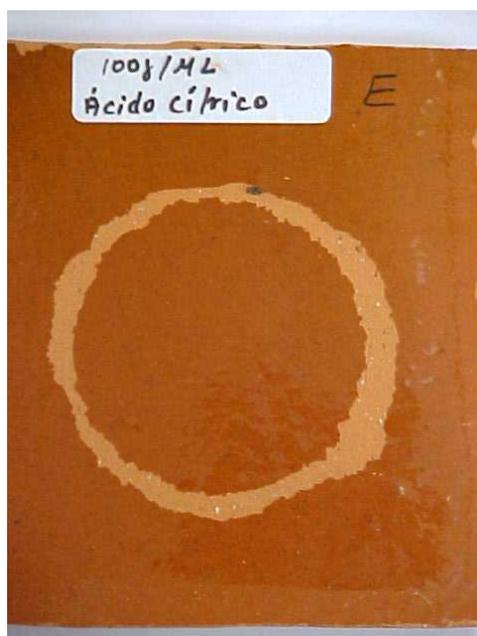
b) com recobrimento acrílico



c) com recobrimento de poliéster



d) com recobrimento de silicone



e) com recobrimento de esmalte cerâmico

Figura 5.6 – Corpos de prova que sofreram ataque químico com ácido cítrico, das telhas natural, com recobrimento de resina acrílica, de poliéster, de silicone e de esmalte cerâmico respectivamente.

5.6 Ensaio de Resistência ao Manchamento

A primeira amostra a ser submetida ao processo de limpeza e serviu como referência para os demais tipos de recobrimento foi a telha cerâmica romana natural, que por apresentar um grau de porosidade elevado, teve a adesão facilitada dos produtos manchantes, tornando difícil a sua remoção. A sujeira na superfície das amostras da telha cerâmica natural, nenhum dos produtos de limpeza utilizado, foi removida totalmente, tornando a telha natural a pior superfície se comparada com os demais tipos de recobrimento utilizados.

A telha esmaltada foi considerada neste ensaio como sendo a segunda que teve o melhor desempenho aos ensaios de manchamento aplicados na superfície do recobrimento das telhas cerâmicas, teve um comportamento quase idêntico ao recobrimento acrílico, isto é em função da sua facilidade de limpeza, por causa da diminuição da porosidade superficial (poros abertos).

No caso da telha com recobrimento silicone apesar de ter um caráter impermeabilizante apresentou dificuldade de remoção das manchas com todos os produtos utilizados para limpeza.

Já os recobrimentos que tiveram um índice de maior poder de remoção dos agentes manchantes, sem dúvida foi o recobrimento poliéster, isto porque a superfície dessas amostras são extremamente lisas e especular e quase que totalmente isentas de porosidade, tornando este produto com melhor qualidade superficial para recobrimento, em relação ao aspecto limpabilidade. Os resultados dos ensaios de manchamento estão apresentados na Tabela 5.15.

Tabela 5.14 – Símbolos e pontos utilizados na Tabela 5.15 dos resultados do ensaio de resistência ao manchamento.

Material de limpeza	Símbolos
Água	A
Detergente neutro	D
Saponáceo cremoso	S
Detergente com cloro ativo	C

Resultado da limpeza	Pontuação
Limpou totalmente	3
Limpou parcialmente	2
Não limpou	1

Tabela 5.15 – Resultados do ensaio de manchamento em função do tipo de recobrimento, dos agentes manchantes e do material de limpeza.

Agentes Manchantes	Material de Limpeza	Recobrimentos				
		Natural	Esmalte	Poliéster	Acrílico	Silicone
Cera de sapato da cor preta	A	1	2	2	1	1
	D	1	2	3	2	2
	S	1	2	3	2	2
	C	1	2	3	2	2
Azeite de oliva	A	1	1	1	1	1
	D	1	3	3	3	2
	S	1	3	3	3	2
	C	1	3	3	3	2
Húmus	A	2	3	3	3	2
	D	2	3	3	3	2
	S	2	3	3	3	2
	C	1	3	3	3	2
Fezes de aves	A	1	3	3	3	2
	D	2	3	3	3	2
	S	2	3	3	3	2
	C	2	3	3	3	2
Total de pontuação		22	42	45	41	30

Quanto à resistência ao manchamento, o recobrimento de poliéster apresentou melhores resultados, enquanto os corpos de prova produzidos a partir de telhas naturais apresentaram os piores resultados.

A Figura 5.7 apresenta os corpos de prova que passaram pelos ensaios de manchamento.



a) natural



b) com recobrimento acrílico



c) com recobrimento de poliéster



d) com recobrimento de silicone



e) com recobrimento de esmalte cerâmico

Figura 5.7 – Corpos de prova que sofreram ensaio de manchamento, das telhas natural, com recobrimento de resina acrílica, de poliéster, de silicone e de esmalte cerâmico respectivamente.

5.7 Ensaio de Resistência à Abrasão

Nos ensaios realizados com 150 giros das esferas sobre as superfícies dos corpos de prova, obteve-se os seguintes resultados:

- Os corpos de prova produzidos a partir de telhas naturais sem recobrimento, visualmente não apresentaram alterações na superfície;
- Os corpos de prova produzidos a partir de telhas esmaltadas apresentaram leve mudança de cor da área abrasionada;
- Os corpos de prova produzidos a partir de telhas com recobrimento de poliéster apresentaram leve mudança na cor da área abrasionada;
- Os corpos de prova produzidos a partir de telhas com recobrimento acrílico visualmente não apresentaram alterações nas cores;

- Os corpos de prova produzidos a partir de telhas com recobrimento de silicone também não apresentaram mudanças nas cores.

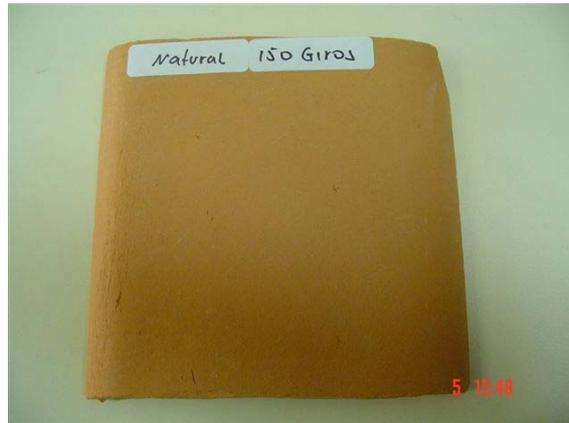
Nos ensaios realizados com 500 giros das esferas sobre a superfície dos corpos de prova, obteve-se os seguintes resultados:

- Os corpos de prova produzidos a partir de telhas naturais sem recobrimento não apresentaram mudanças nas cores;
- Os corpos de prova produzidos a partir de telhas esmaltadas tiveram mudanças acentuadas nas cores;
- Os corpos de prova produzidos a partir de telhas com recobrimento de poliéster tiveram pequenas mudanças nas cores;
- Os corpos de prova produzidos a partir de telhas com recobrimento acrílico aparentemente não tiveram alterações nas cores;
- Os corpos de prova produzidos a partir de telhas com recobrimento de silicone tiveram leves alterações na tonalidade.

Nos ensaios realizados com 1000 giros das esferas sobre a superfície dos corpos de prova, obteve-se os seguintes resultados:

- Os corpos de prova produzidos a partir de telhas naturais e com recobrimento de silicone tiveram leves alterações nas suas cores, difíceis de perceber a olho nú;
- Os corpos de prova produzidos a partir de telhas esmaltadas tiveram grandes alterações na tonalidade;
- Os corpos de prova produzidos a partir de telhas com recobrimento acrílico tiveram também grandes alterações na cor do recobrimento;
- Os corpos de prova produzidos a partir de telhas com recobrimento de poliéster apresentaram também grandes alterações na tonalidade.

As Figuras de 5.8 até 5.12 mostram alguns corpos de prova após os ensaios de resistência à abrasão.



a) natural -150 giros

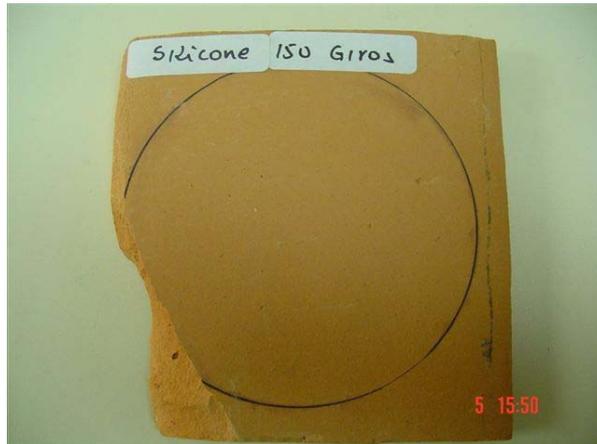


b) natural - 500 giros



c) natural -1000 giros

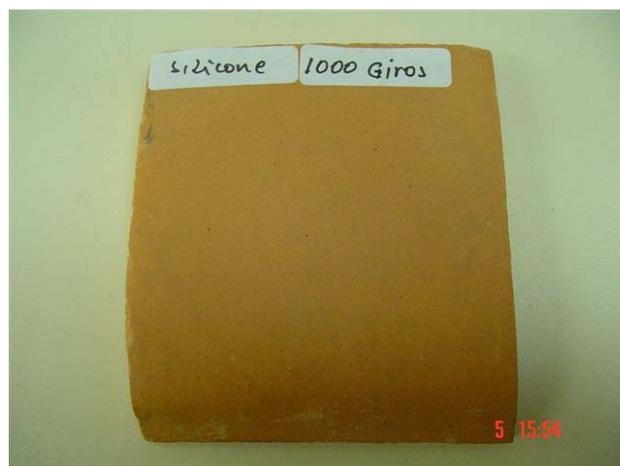
Figura 5.8 – Corpos de prova sem recobrimento superficial (natural) após os ensaios de resistência a abrasão, com 150, 500 e 1000 giros.



a) com recobrimento de silicone – 150 giros

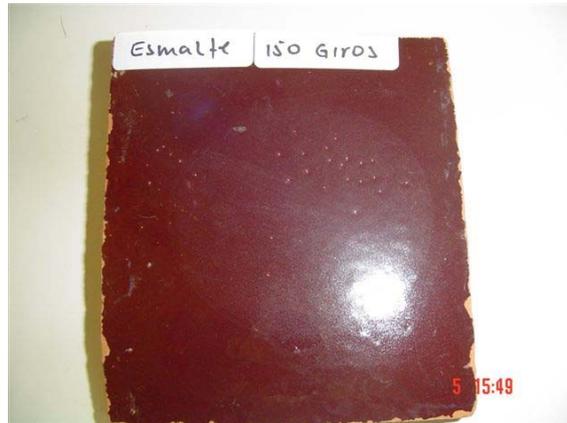


b) com recobrimento de silicone – 500 giros



c) com recobrimento de silicone – 1000 giros

Figura 5.9 – Corpos de prova com recobrimento superficial de resina de silicone após os ensaios de resistência a abrasão, com 150, 500 e 1000 giros.



a) com recobrimento de esmalte cerâmico - 150 giros

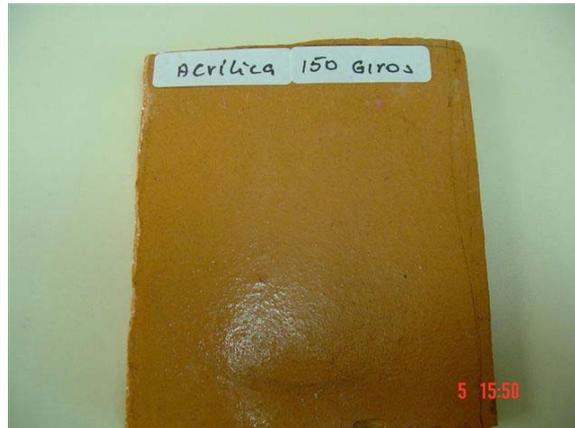


b) com recobrimento de esmalte cerâmico - 500 giros



c) com recobrimento de esmalte cerâmico – 1000 giros

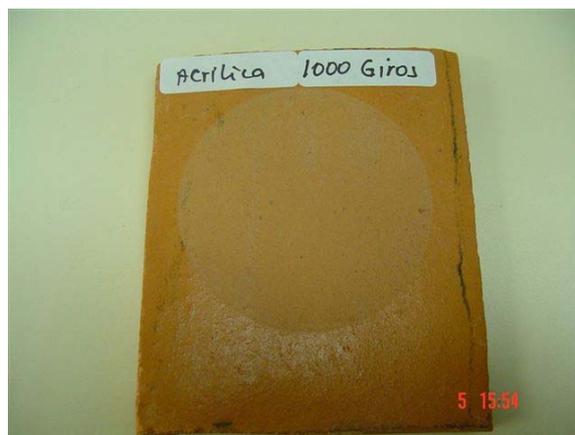
Figura 5.10 – Corpos de prova com recobrimento superficial esmaltado após os ensaios de resistência a abrasão, com 150, 500 e 1000 giros.



a) com recobrimento acrílico – 150 giros



b) com recobrimento acrílico – 500 giros



c) com recobrimento acrílico – 1000 giros

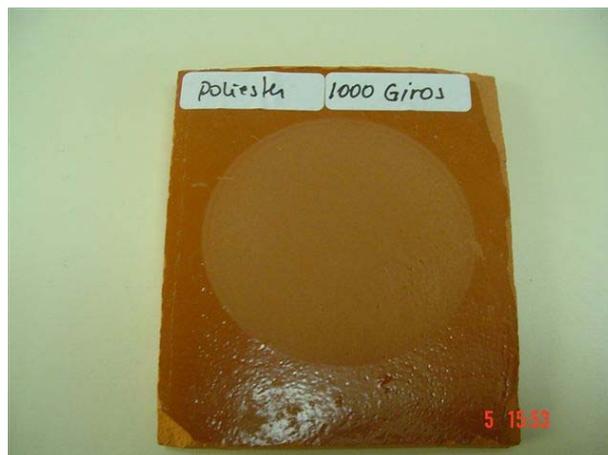
Figura 5.11 – Corpos de prova com recobrimento superficial acrílico após os ensaios de resistência a abrasão, com 150, 500 e 1000 giros.



a) com recobrimento de poliéster – 150 giros



b) com recobrimento de poliéster – 500 giros



c) com recobrimento de poliéster – 1000 giros

Figura 5.12 – Corpos de prova com recobrimento superficial de poliéster após os ensaios de resistência a abrasão, com 150, 500 e 1000 giros.

5.8 Ensaio de Resistência ao Risco

Os resultados obtidos foram os seguintes:

- Os corpos de prova de telha natural apresentaram dureza igual a 6, ou seja, riscaram com quartzo;
- Os corpos de prova com recobrimento esmaltado apresentaram dureza igual a 3, riscando com fluorita;
- Os corpos de prova com recobrimento de poliéster apresentaram dureza igual a 2, riscando com calcita;
- Os corpos de prova com recobrimento acrílico e com recobrimento de silicone apresentaram dureza igual a 4, ou seja, riscaram com apatita.

Alguns dos corpos de prova ensaiados estão apresentados nas Figuras 5.13 até 5.17.



Figura 5.13 – Corpo de prova sem recobrimento superficial (natural) após a execução do ensaio de resistência ao risco.

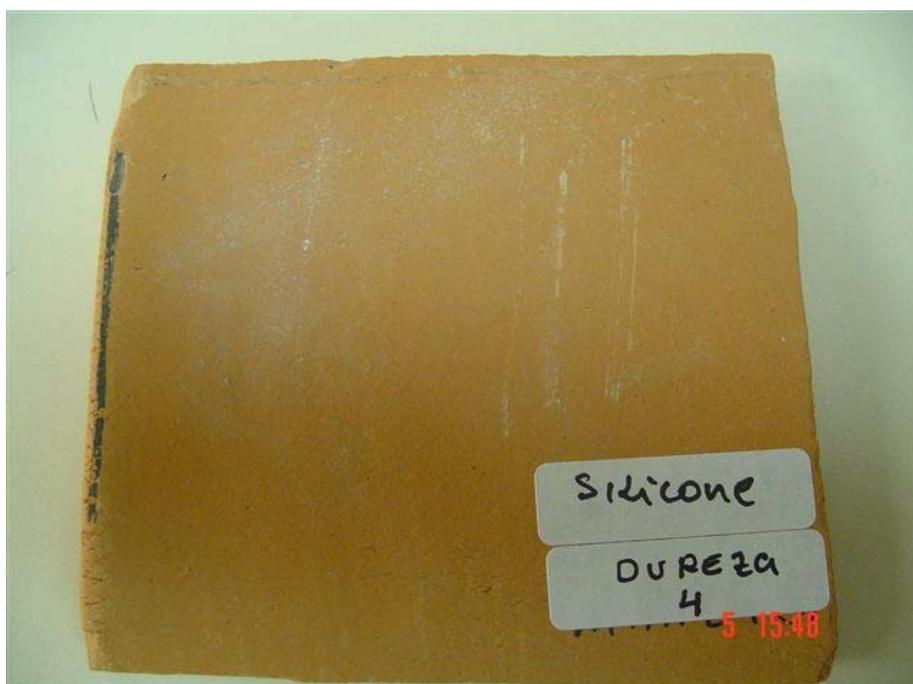


Figura 5.14 – Corpo de prova com recobrimento superficial de silicone após a execução do ensaio de resistência ao risco.

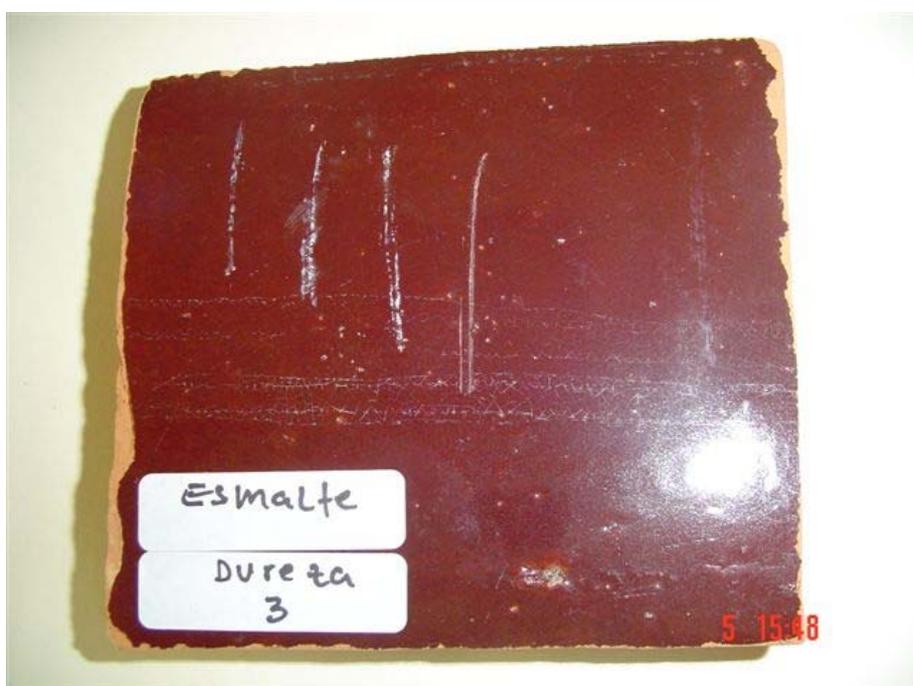


Figura 5.15 – Corpo de prova com recobrimento superficial esmaltado após a execução do ensaio de resistência ao risco.



Figura 5.16 – Corpo de prova com recobrimento superficial acrílico após a execução do ensaio de resistência ao risco.



Figura 5.17 – Corpo de prova com recobrimento superficial de poliéster após a execução do ensaio de resistência ao risco.

5.9 Ensaio de Exposição ao Tempo

Os resultados observados estão registrados na Tabela 5.16.

Tabela 5.16 – Resultados da exposição ao tempo.

Tipo de Recobrimento	Presença de limo	Alterações estéticas	Aderência de vegetais	Aderência de fezes de pássaros	Umidade na face inferior
Natural	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Esmaltada	Sim	Não	Não	Não	Não
Poliéster	Não	Não	Não	Não	Não
Acrílico	Não	Sim	Sim	Sim	Não
Silicone	Sim	Sim	Sim	Sim	Não

Os principais problemas observados em relação às telhas foram a formação de limo, alterações estéticas (a perda de brilho, alteração de cor e outras alterações estéticas), aderência de substâncias vegetais (seivas, folhas e outras substâncias), aderência de fezes de pássaros e umidade na face inferior.

Observa-se, em relação à exposição ao tempo, uma superioridade qualitativa das telhas com recobrimento de poliéster, que não apresentaram nenhum dos defeitos descritos anteriormente após doze meses de exposição. O pior comportamento foi das telhas naturais sem recobrimento que apresentaram todos os defeitos descritos anteriormente.

5.10 Ensaio de Resistência a Salinidade

Em função do tipo de recobrimento os resultados obtidos estão nas Tabelas 5.17 e 5.18. As Figuras 5.18 e 5.19 apresentam os gráficos de variação de massa a úmido e a seco dos corpos de prova ensaiados.

Tabela 5.17. Variação de massa dos corpos de prova a úmido.

Massa	Tipo de Recobrimento									
	Natural		Esmaltada		Acrílica		Poliéster		Silicone	
	CP1	CP2	CP1	CP2	CP1	CP2	CP1	CP2	CP1	CP2
Massa inicial [g]	191,61	208,21	227,96	233,99	258,61	234,88	198,88	228,27	195,27	211,51
Massa final [g]	191,38	207,91	234,39	234,26	266,54	239,85	200,39	237,07	201,64	217,46
Variação de massa [g]	-0,23	-0,30	6,43	0,27	7,93	4,97	1,51	8,80	6,37	5,95
Perda de massa (%)	-0,12	-0,14	2,82	0,12	3,07	2,12	0,76	3,86	3,26	2,81
Perda média de massa (%)	-0,13		1,47		2,59		2,31		3,04	

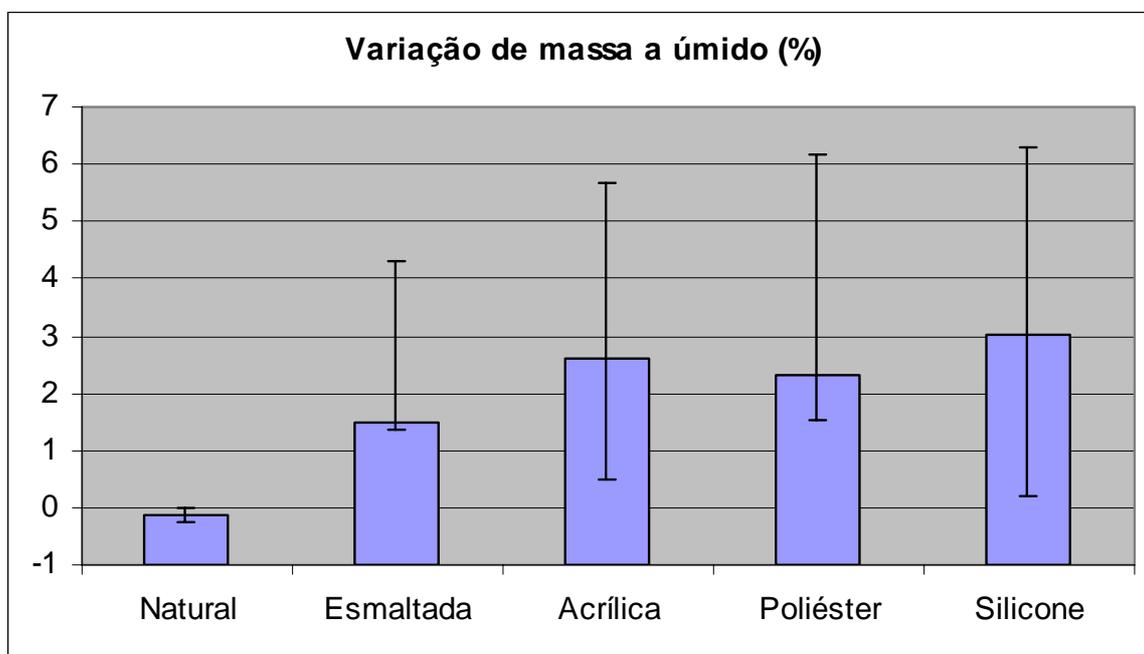


Figura 5.18 - Variação de massa a úmido (%).

Tabela 5.18. Variação de massa dos corpos de prova a seco.

Massa	Tipo de Recobrimento									
	Natural		Esmaltada		Acrílica		Poliéster		Silicone	
Massa inicial [g]	169,30	184,28	206,50	212,65	239,61	218,22	177,10	203,56	184,34	200,78
Massa final [g]	175,02	191,58	216,03	217,52	246,64	223,53	191,62	214,12	189,32	206,28
Variação de massa [g]	5,72	7,30	9,53	4,87	7,03	5,31	14,52	10,56	4,98	5,50
Perda de massa (%)	3,38	3,96	4,62	2,29	2,93	2,43	8,20	5,19	2,70	2,74
Perda média de massa (%)	3,67		3,45		2,68		6,69		2,72	

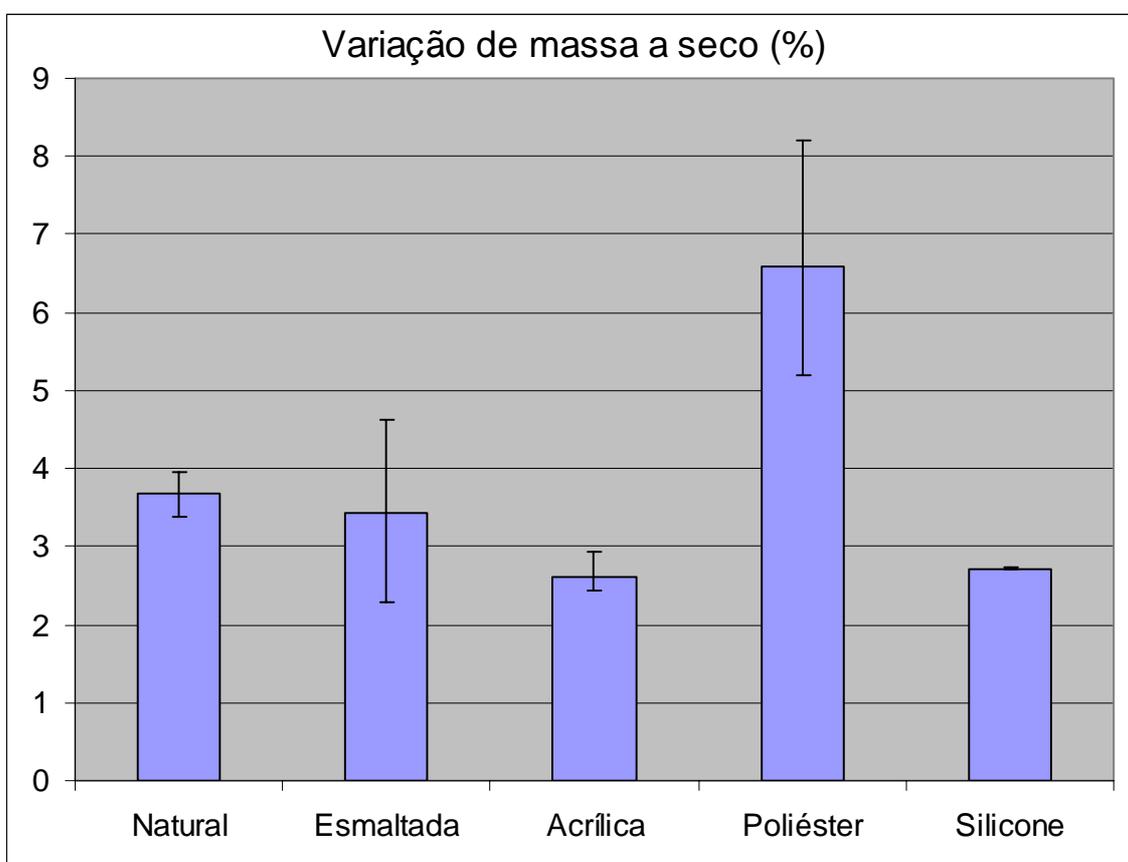


Figura 5.19 - Variação de massa a seco (%).

Segundo os resultados obtidos neste ensaio, para todos os tipos de recobrimentos houve acréscimo de massa dos corpos de prova para as medidas a seco e a úmido. Neste caso, sob o critério de variação de massa, todos os corpos de provas podem ser classificados como “expostos”. Observou-se a ocorrência de vários problemas entre os quais descascamento dos recobrimentos, exceto para os corpos de prova cobertos com silicone, fissuras, gretamento, entre outros problemas (Figura 5.20). Esperava-se que todos os corpos de prova tivessem perdas de material, pois no final do ensaio foram levemente atritados com os dedos das mãos, gerando o destacamento de partículas desintegradas da superfície. No entanto, os resultados do ensaio mostraram ganho de massa, mesmo com destacamento das partículas. Entende-se que no caso dos ensaios a úmido a absorção de substância do meio salino, foi maior do que a perda de partículas, o que gerou o aumento da massa. Quanto aos resultados após a secagem verificou-se que o corpo de prova de acrílico manteve a massa ganha durante o tempo em que esteve no meio salino, provavelmente decorrente do sal cristalizado retido nos poros. Já os demais corpos de prova aumentaram sua massa para além do que já haviam adquirido no meio salino, provavelmente também em função do sal cristalizado retido nos poros e/ou reações químicas com o meio, favorecidas pela temperatura de secagem e o extenso tempo de ensaio, que deram origem a novas substâncias que passaram a formar a massa final do corpo de prova.

Os corpos de prova com recobrimento superficial de silicone apresentaram maior resistência à maresia, aparecendo apenas destruição do corpo de prova na parte inferior do mesmo onde não havia aplicação de silicone.



a) recobrimento esmaltado



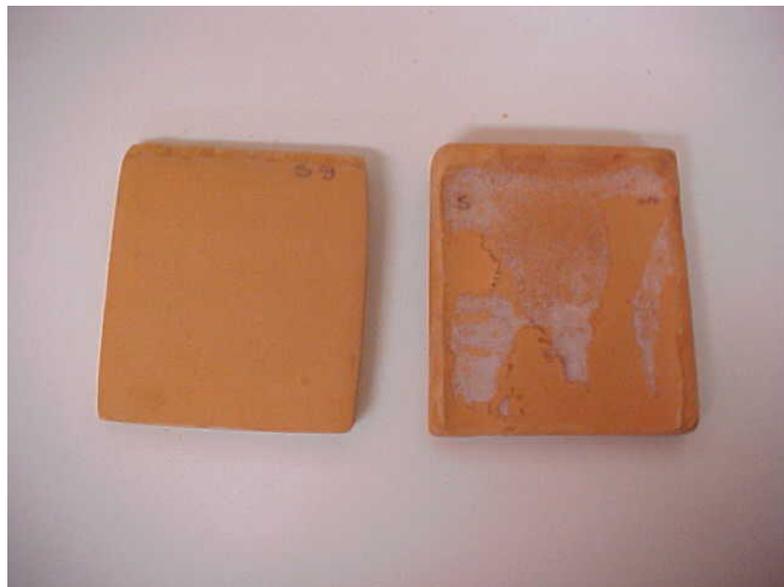
b) sem recobrimento ou natural



c) recobrimento acrílico



d) recobrimento de poliéster



e) recobrimento de silicone (face anterior e posterior)

Figura 5.20 – Corpos de prova ensaiados quanto à resistência a maresia.

5.11 Ensaio de Resistência ao Congelamento

Após este ensaio, as superfícies dos corpos de prova foram examinadas e constatou-se que nenhum corpo de prova apresentou defeitos ou variações visíveis em suas características originais.

5.12 Ensaio de Resistência ao Gretamento

Os corpos de provas com recobrimento de poliéster e acrílico sofreram degradação da camada recoberta. Esta degradação ocorreu em função do rompimento das ligações da cadeia molecular que não resistiram às altas temperaturas e à pressão geradas dentro da autoclave.

Os corpos de provas de silicone e esmaltados foram submetidos ao ensaio de manchamento com azul de metileno, mantidos por duas horas, a partir deste tempo às superfícies foram limpas e verificou-se que o recobrimento do corpo de prova esmaltado apresentou trincas por toda a superfície e os corpos de prova de silicone nada sofreram. Os corpos de prova recobertos com esmalte cerâmico não resistiram ao ensaio de gretamento, porque eles tiveram um aumento de volume devido ao líquido absorvido, onde o recobrimento não acompanhou a expansão do suporte. Assim que os corpos de prova retornaram a temperatura ambiente e através do líquido revelador, constatou-se que eles sofreram trincas por toda a superfície. Estas foram provocadas pela diferença de coeficientes de dilatação entre o suporte e o recobrimento da telha. Já os recobrimentos de silicones, termicamente mais resistentes e inertes sob essas condições, podem ser utilizados a temperatura relativamente mais elevada.

Os resultados deste ensaio estão apresentados na Tabela 5.19.

Tabela 5.19 – Resultados dos ensaios de resistência ao gretamento.

Recobrimento	Gretamento	Observações
Acrílico	Indefinido	O ensaio destruiu parte do recobrimento superficial impossibilitando a análise dos corpos de prova.
Silicone	Não	O recobrimento resistiu ao ensaio.
Poliéster	Indefinido	O ensaio destruiu parte do recobrimento superficial impossibilitando a análise dos corpos de prova.
Esmaltado	Sim	O recobrimento não resistiu ao ensaio.

Na Figura 5.21 pode-se observar alguns corpos de provas que sofreram o ensaio de resistência ao gretamento.



a) recobrimento acrílico



b) recobrimento esmaltado



c) recobrimento de poliéster



d) recobrimento de silicone

Figura 5.21 – Corpos de provas ensaiados quanto à resistência ao gretamento.

5.13 Comparação dos Resultados

Alguns comentários finais ainda devem ser feitos sobre os ensaios realizados. Na análise visual, todas as telhas tiveram resultados semelhantes, independentes do tipo de recobrimento superficial, apresentando superfícies defeituosas com lascados, riscados, manchas, entre outros. Provavelmente, isso se deve à fabricação, ao transporte e ao manuseio inadequados destes produtos. Para a adaptação deste ensaio, sugere-se modificar para no mínimo 3 metros, a distância do observador em relação ao painel de observação. Isto porque defeitos como manchas, saliências, depressões, pintas e outros que se encontram no suporte, abaixo do recobrimento, quando vistas a uma distância maior não são visíveis.

Outra observação que deve ser considerada refere-se à localização do telhado, que está a uma distância da visão humana maior que as placas cerâmicas. Ainda podemos estabelecer como critério de avaliação, alterar o que especifica a NBR 13818/1997 (placas cerâmicas), que 95% das peças examinadas não devem apresentar defeitos, ou seja, de 5% das peças com defeitos, poder-se-ia passar para um percentual maior, se considerados os aspectos acima analisados.

No ensaio de absorção de água verificou-se que o melhor resultado foi apresentado pelas telhas naturais, que dá margem a seguinte interpretação: a absorção de água depende da porosidade da telha que é conseqüência da melhor compactação e sinterização, considerando-se a mesma matéria prima utilizada. Resolveu-se manter os ensaios realizados como aplicáveis porque o aumento de massa em todos os acabamentos não ultrapassou os 18% admitidos pelas NBR 8947/85 para telhas naturais e NBR 13818 (ABNT, 1997) para placas cerâmicas. Mesmo considerando os ensaios anteriores, tem-se como sugestão, revestir todas as faces dos corpos de provas, porque a telha natural por ser porosa em todas as faces geométricas, não apresentando impedimento para absorver água, sendo o fluxo capilar de líquido contínuo em todas as direções. Quando os corpos de prova foram suspensos do recipiente, esse líquido retido no

interior da massa, escorreu para a superfície externa da peça, que ao serem secados com um pedaço de tecido todo o líquido foi retirado e, por fim, os corpos de prova foram pesados.

Nas amostras com recobrimento de esmalte cerâmico, poliéster, acrílico e silicone, em função da impermeabilidade (ausência de poros) numa das faces, o líquido retido não conseguiu ultrapassar a barreira do recobrimento. Isso resultou em aumento de massa com alguma dispersão de medidas, principalmente função da situação de secagem dos corpos de prova, ou seja, conforme a posição de retirada dos corpos de prova da água, mais ou menos líquido escorre provocando alguma dispersão na massa.

Essa interpretação é reforçada quando se observa o valor de resistência à flexão, onde as telhas naturais também obtiveram os melhores resultados, pois provavelmente apresenta menor porosidade. Ainda sobre o ensaio de resistência à flexão, considera-se que sobre as superfícies recobertas das telhas atuam somente forças compressivas, a presença de recobrimento superficial pouco ou nada influi nos valores obtidos, devido à espessura do recobrimento ser extremamente fina em relação à espessura total da telha. Os valores de resistência a flexão obtidos pelas telhas foram, independentemente do tipo de recobrimento, superiores ao recomendado pela NBR 13582 (ABNT, 1996) para telhas naturais, que não deve ser inferior a 1300N/mm^2 ou 130kgf/cm^2 . Mesmo assim, para que não ocorra dispersão nas medidas, é fundamental a etapa de preparação da massa, da mistura correta das argilas envolvidas assim como das fases de produção, secagem e queima controlada do produto.

Outro resultado que chama a atenção é o ensaio de impermeabilidade, onde as telhas com recobrimentos de esmalte cerâmico obtiveram os piores resultados. Isso se deve a presença de muitas fissuras ou gretas na superfície esmaltada que possibilita a água atravessar a telha por fissuras capilares. Como as amostras não apresentaram gotas e somente manchas na face inferior, fica mantido o ensaio sem necessidade de adaptação, apenas a necessidade de rever a composição química do esmalte em relação à expansão por umidade e ajuste na dilatação térmica.

Naqueles ensaios em que a qualidade superficial é um fator importante, onde as características de desempenho são de ordem estética, como nos ensaios de resistência ao ataque químico, manchamento e exposição ao tempo, as telhas recobertas obtiveram melhores resultados do que as telhas naturais. Isto porque nos ensaios de resistência ao ataque químico, apesar de serem os reagentes mais indicados pela NBR 13818 ABNT, 1997) por terem propriedades corrosivas, é necessário acrescentar mais 25% de reagentes químicos a concentração da solução, não somente do hidróxido de potássio e ácido clorídrico, como também o ácido cítrico, que apenas provocou uma discreta mudança na cor do recobrimento silicone.

No ensaio de resistência ao manchamento foi utilizado de critérios próprios na escolha dos agentes manchantes, em função da particularidade de cada região (marítima, industrial, rural e grandes centros urbanos). Desconsiderou-se os elementos químicos de iodo, óxido de ferro em óleo leve, óxido de cromo em óleo leve e solução alcoólica, para placas cerâmica, conforme NBR13818 (ABNT, 1997). Os agentes manchantes, como excrementos de aves, humus (folhas) e óleo de oliva, representam a matéria orgânica vegetal e animal. Enquanto que a cera de sapato de cor preta, que representa os elementos mais agressivos, com poder maior de aderir às superfícies porosas, dificultando a sua remoção. Deve-se, portanto, manter este mesmo critério de avaliação, sem nenhuma modificação aos procedimentos dos ensaios que foram realizados.

No ensaio de exposição ao tempo expõem-se as telhas ao processo de intemperismo como chuva, vento, geada, pó, sol, sereno, neve, maresia, chuva ácida, monóxido de carbono, fuligem, entre outros. É realmente um teste de resistência dos diferentes tipos de acabamento das telhas cerâmica. Não sendo elas auto-limpantes, incrustações e limos também vão se formando na superfície das telhas. Este ensaio também deve ser mantido, não só porque as telhas com recobrimento tiveram o melhor desempenho, mas por ele retratar a realidade do comportamento dos diferentes acabamentos superficiais. Dentre os vários ensaios realizados, o ensaio de exposição ao tempo foi considerado o mais importante pelo autor deste trabalho, pois submete as telhas e seus recobrimentos às

solicitações reais, ensaiando não somente os aspectos estéticos, mas também os tecnológicos e os funcionais.

Nos ensaios onde a resistência mecânica superficial é um fator predominante, como nos ensaios de resistência à abrasão e ao risco, as telhas naturais obtiveram os melhores resultados, demonstrando que os recobrimentos superficiais possuem resistência mecânica inferior a da própria telha cerâmica. Portanto, estes ensaios devem ser mantidos sem modificação no critério de avaliação do desempenho dos acabamentos das telhas cerâmicas, conforme norma NBR 13818/97.

Nos ensaios de resistência ao congelamento, todas as telhas apresentaram desempenhos semelhantes, resistindo aos ensaios, demonstrando que a presença ou a ausência de recobrimento não é importante perante os mecanismos de congelamento, considerando as condições dos ensaios. Como este ensaio retrata condições climáticas as quais as telhas podem estar sujeitas, sugere-se mantê-lo sem adaptação conforme a NBR 13818/97.

Nos ensaios de resistência à salinidade, apenas as telhas recobertas de silicone resistiram ao meio salino, pois foram os únicos corpos de prova que não apresentaram descolamento do recobrimento mesmo tendo ganhado massa. Este ensaio deve ser mantido conforme norma (AS/NZS, 2003) que avalia a resistência dos recobrimentos cerâmicos sujeitos a maresia, que são condições as quais as telhas estarão sujeitas quando próximas ao litoral.

Nos ensaios de gretamento, os corpos de prova ficam sujeitos a temperaturas e pressões elevadas, em presença de umidade, para acelerar o processo de expansão por umidade. Como conseqüência, os recobrimentos de resina acrílica e de poliéster, que não resistem a temperaturas e pressões elevadas, causando uma pulverulencia da superfície (desintegração), foram totalmente destruídos, impossibilitando a comparação com os demais recobrimentos. Para que se possa melhor avaliar o desempenho dos recobrimentos acrílicos e poliéster, sugere-se diminuir a temperatura e pressão dentro da autoclave. Isto porque, a temperatura de fusão dos recobrimentos acima citados, é bem inferior ao do esmalte cerâmico e do silicone.

A comparação dos resultados obtidos permitiu verificar qual tipo de recobrimento superficial das telhas cerâmicas apresentou melhor desempenho em relação às características desejadas pelos consumidores. O método de comparação é simples: o recobrimento que obtiver o melhor resultado em relação aos demais recebeu dez pontos, o que obtiver o segundo lugar recebeu 7 pontos, o terceiro lugar 4 pontos, o quarto lugar 1 ponto e o último lugar zero pontos. A pontuação obtida por cada tipo de recobrimento superficial, assim como os somatórios gerais dos pontos, estão apresentados na Tabela 5.20. Faz-se aqui um comentário sobre a escala de pontuação utilizada: ela não demonstra a dimensão da diferença de qualidade entre os tipos de recobrimentos, apenas serve para ordená-los em relação à qualidade do recobrimento.

Considerando-se os resultados de todos os ensaios, observa-se que os melhores resultados foram obtidos pelos recobrimentos superficiais de silicone. O segundo lugar foi das telhas recobertas com resina de poliéster e o terceiro lugar das telhas recobertas com resina acrílica. As telhas com recobrimentos superficiais de esmalte cerâmico obtiveram o quarto lugar e as telhas sem recobrimentos superficiais ficaram em último lugar. Isto demonstra, em primeiro lugar, que há vantagens nas telhas recobertas, pois algumas destas apresentam melhores qualidades do que as telhas naturais ou sem recobrimentos. Em segundo lugar, que há diferenças perceptíveis entre os diversos tipos de recobrimentos, em relação às qualidades desejadas pelos consumidores.

Tabela 5.20 – Ordenação dos recobrimentos superficiais quanto às características de desempenho.

Ensaio	Recobrimentos Superficiais				
	Acrílica	Esmaltada	Natural	Poliéster	Silicone
Análise Visual	10	10	0	10	10
Absorção de Água	7	7	10	7	4
Resistência à Flexão	4	1	10	1	7
Impermeabilidade	7	1	4	10	7
Resistência ao Ataque Químico	10	10	4	10	7
Resistência ao Mancharmento	4	7	0	10	1
Resistência à Abrasão	7	7	10	7	10
Resistência ao Risco	7	4	10	1	7
Exposição ao Tempo	4	7	0	10	1
Resistência à Salinidade	7	7	7	7	10
Resistência ao Congelamento	10	10	10	10	10
Resistência ao Gretamento	0	0	0	0	10
Total	77	71	65	83	84
Colocação	3°	4°	5°	2°	1°

Considerando apenas os ensaios nos quais o desempenho das características estéticas é importante, retirou-se da Tabela 5.20 os ensaios de absorção de água, resistência à flexão e impermeabilidade. Os valores estão apresentados na Tabela 5.21.

Tabela 5.21 - Ordenação dos recobrimentos superficiais quanto às características de desempenho que dependem apenas das características superficiais.

Ensaio	Recobrimentos Superficiais				
	Acrílica	Esmaltada	Natural	Poliéster	Silicone
Análise Visual	10	10	0	10	10
Resistência ao Ataque Químico	10	10	4	10	7
Resistência ao Mancharmento	4	7	0	10	1
Resistência à Abrasão	7	7	10	7	10
Resistência ao Risco	7	4	10	1	7
Exposição ao Tempo	4	7	0	10	1
Resistência à Salinidade	7	7	7	7	10
Resistência ao Congelamento	10	10	10	10	10
Resistência ao Gretamento	0	0	0	0	10
Total	59	62	41	65	66
Colocação	4°	3°	5°	2°	1°

Neste caso, as telhas recobertas com silicone obtiveram o primeiro lugar, as recobertas com resina poliéster o segundo lugar, as recobertas com esmalte cerâmico o terceiro lugar. As telhas recobertas com resina acrílica obtiveram o quarto lugar. Obviamente, as telhas naturais sem recobrimento obtiveram o último lugar. Este resultado considera os ensaios relacionados nas Tabelas 5.20 e 5.21 como de igual importância, não havendo peso diferenciado em função dos aspectos preferidos pelos consumidores ou considerados como mais importantes pelo autor deste trabalho.

6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

6.1 Conclusões

Neste trabalho os parâmetros para avaliação da qualidade dos recobrimentos superficiais das telhas cerâmicas foram determinados, baseando-se na pesquisa das qualidades desejadas pelos consumidores quando da compra de telhas cerâmicas com recobrimento. Outros parâmetros foram adicionados devido às exigências de normas técnicas. São os seguintes parâmetros de avaliação: análise visual, absorção de água, resistência à flexão, impermeabilidade, resistência ao ataque químico, resistência ao manchamento, resistência à abrasão, resistência ao risco, exposição ao tempo, resistência a salinidade, resistência ao congelamento e resistência ao gretamento. Uma vez que estes foram determinados, prosseguiu-se com a identificação dos ensaios e análises adequadas às características das telhas cerâmicas com recobrimentos superficiais. Devido à inexistência de ensaios já aplicáveis às telhas cerâmicas e seus recobrimentos, ensaios comumente utilizados com placas cerâmicas foram aplicados.

Verificou-se também, que é possível comparar as diversas características ensaiadas das telhas cerâmicas, mesmo que vários destes ensaios são qualitativos ou de resultados em valores discretos.

Nos ensaios realizados, observou-se que os recobrimentos superficiais determinam qualidades importantes na telha cerâmica e que há diferenças sensíveis em relação aos diversos tipos de recobrimentos.

Em relação às hipóteses, conclui-se que duas delas puderam ser mantidas como verdadeiras. As características de desempenho dos recobrimentos superficiais são passíveis de mensuração ou avaliação. Todas as características de desempenho apontadas como importantes foram mensuradas, mesmo aquelas mais subjetivas como a resistência ao manchamento. Às vezes, houve a

necessidade de criar escalas próprias para a mensuração da propriedade, como foi o caso do ensaio de resistência ao manchamento, onde se pode associar o desempenho do produto em relação à característica, como sendo dentro de uma escala de valores.

Uma vez que as características foram mensuradas, pode-se comparar entre os diversos valores obtidos para cada tipo de revestimento em relação às características. Isso demonstrou qual tipo de revestimento obteve melhor desempenho em relação aos demais.

Não pôde ser mantida a hipótese que enuncia que os ensaios aplicáveis às placas cerâmicas podem ser aplicados às telhas cerâmicas, para ensaiar os revestimentos superficiais delas. Os ensaios de resistência ao ataque químico, resistência ao manchamento, resistência à abrasão e resistência ao risco puderam ser executados sem maiores problemas, porém ocorreram problemas na execução dos ensaios de resistência ao gretamento e de absorção de água. No caso do ensaio de absorção de água, identificou-se que, como somente uma face possui revestimento, ocorreram algumas imprecisões devido ao manuseio. Isto porque, conforme a posição que o corpo de prova é enxugado com pano, há maior ou menor escoamento de água para o ambiente externo.

Em relação ao ensaio de resistência ao gretamento, por ser executado em temperatura e pressões elevadas, ele tende a destruir os revestimentos superficiais que não resistem a essas condições de temperatura e pressão, como de fato ocorreu com os corpos de prova revestidos com poliéster e com resina acrílica. Devido a este fato, a ocorrência de gretamento não pôde ser verificada e os resultados foram inconclusivos.

Para os ensaios efetuados e relacionados nas Tabelas 5.20 e 5.21, o melhor revestimento foi o de silicone. Os entrevistados, porém, consideraram os aspectos de resistência ao manchamento e de impermeabilidade como os mais importantes, tendo sido considerados como muito importante para 80% e para 90% dos entrevistados, respectivamente. Por sua vez, o autor deste trabalho considera como o mais importante o ensaio de exposição ao tempo, pois reflete com mais fidelidade as condições reais de uso das telhas. Considerando-se os

três ensaios citados como os mais importantes, o recobrimento que obteve melhor desempenho foi o de poliéster, superior inclusive ao de silicone, se for dado maior grau de importância à estes ensaios.

6.2 Sugestões para Trabalhos Futuros

A adaptação dos ensaios utilizados para determinação das características de desempenho das placas cerâmicas foi um recurso utilizado para poder determinar a qualidade dos recobrimentos superficiais das telhas. Observa-se, porém que esta adaptação poderia ser melhor estudada e realizada, quanto aos procedimentos utilizados, por exemplo, no ensaio resistência ao ataque químico, as substâncias utilizadas foram hidróxido de potássio, ácido clorídrico e ácido cítrico. Estas substâncias são adequadas para ataque químico de superfícies vítreas, como as encontradas nas placas cerâmicas. Como alguns recobrimentos superficiais são de origem orgânica, torna-se necessário pesquisar quais substâncias são mais adequadas para o ataque químico. Além disso, sugere-se analisar e definir novos valores de concentração dos reagentes.

No caso do ensaio de resistência ao manchamento, tanto os procedimentos como as substâncias utilizadas como agentes manchantes e limpantes poderiam ser analisadas com mais profundidade, visando retratar melhor a realidade da utilização das telhas. Aqui, ainda tem-se um problema: em locais geográficos diferentes, os agentes manchantes são diferentes, por exemplo: numa região geográfica altamente industrializada os agentes manchantes ou que atuam sobre as telhas produzindo manchamento são diferentes das regiões geográficas situadas em áreas rurais, como campos e florestas.

Para as telhas cerâmicas, em relação ao ensaio de resistência ao gretamento, torna-se necessário criar novos procedimentos para viabilizar este tipo de ensaio. As temperaturas e pressões elevadas geradas pela autoclave são destrutivas para os recobrimentos de resina de poliéster e acrílica, impossibilitando que se conheçam os efeitos da expansão por umidade sobre estes tipos de recobrimentos.

Para os ensaios de absorção de água, sugere-se que todas as faces dos corpos de prova sejam recobertas com o recobrimento superficial da telha, isso evitará as imprecisões devido à forma de manuseio do corpo de prova.

Quanto ao ensaio de exposição ao tempo sugere-se complementar este ensaio com o ensaio previsto na Norma ANSI/ASTM G53 – 77 Standard Recommended Practice for Operating Light- and Water-Exposure Apparatus (Fluorescent UV-Condensation Type) for Exposure of Nonmetallic Materials. Este ensaio visa simular a deteriorização de materiais não metálicos causada pela luz solar e por água, como chuva ou orvalho.

7. BIBLIOGRAFIA

- (ABC, 2003) Associação Brasileira de Cerâmica. **Anuário Brasileiro de Cerâmica 2003**. São Paulo: ABC, 2003.
- (ABNT, 1985) Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. **NBR 8947 - Telha cerâmica - Determinação da massa e da absorção de água**, Rio de Janeiro, 1985.
- (ABNT, 1985a) Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. **NBR 8948 - Telha cerâmica - Verificação da impermeabilidade**, Rio de Janeiro, 1985.
- (ABNT, 1987) Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. **NBR 6462 - Telha cerâmica tipo francesa - Determinação da carga de ruptura à flexão**, Rio de Janeiro, 1987.
- (ABNT, 1987a) Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. **NBR 7172 - Telha Cerâmica Tipo Francesa**, Rio de Janeiro, 1987.
- (ABNT, 1987b) Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. **NBR 8038 – Telha Cerâmica Tipo Francesa – Forma e Dimensões**, Rio de Janeiro, 1987.
- (ABNT, 1996) Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. **NBR 13582 - Telha Cerâmica Tipo Romana**, Rio de Janeiro, 1996.
- (ABNT, 1997) Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. **Placas Cerâmicas para Revestimento: especificação e método de ensaio - NBR13818**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.
- (ABNT, 2004) Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. **Tintas para construção civil - Método para avaliação de desempenho de tintas para edificações não industriais: determinação da cor e da diferença de cor por medida instrumental – NBR 15077**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- (ABNT, 2004a) Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. **Tintas para construção civil - Método para avaliação de desempenho de tintas para edificações não industriais - Determinação da resistência à**

- abrasão úmida sem pasta abrasiva – NBR15078.** Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- (ABNT, 2004b) Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. **Tintas para construção civil - Especificação dos requisitos mínimos de desempenho de tintas para edificações não industriais - Tinta látex econômica nas cores claras – NBR 15079.** Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- (AS/NZS, 2003) **AS/NZS 4456.10:2003 - Masonry Units, segmental pavers and flags – Methods of Test – Method 10: Determining resistance to salt attack.** Standards Austrália/Standards New Zealand, 2003.
- (ASTM, 1991) American Society for Testing and Materials. **ASTM G53 - Standard Practice for Operating Light- and Water-Exposure Apparatus (Fluorescent UV-Condensation Type) for Exposure of Nonmetallic Materials.** Philadelphia (EUA) 1991.
- (Callister,1994) Callister, Willian D. **Materials science and Engineering. An introduction.** John Wiley e Sons: USA, 1994.
- (Canevarolo Jr., 2002) Canevarolo Jr., Sebastião V. **Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros.** São Paulo: Artliber Editora, 2002.
- (CCB, 2001) Centro Cerâmico do Brasil. **Critérios para Avaliação de Telhas Cerâmica.** São Paulo, 2001.
- (Duran et alli, 2002) Duran, Alicia et alli. **Introducción a los esmaltes cerámicos.** Faenza: Faenza Editor Ibérica, 2002.
- (Facincani, 2002) Facincani, Ézio. **Coletânea de Tecnologia Cerâmica: cerâmica estrutural.** São Paulo: Faenza Editor do Brasil, 2002. 1 ed.
- (Fazano, 2002) Fazano, Carlos Alberto T.V. **Tintas: métodos de controle de pinturas e superfícies.** São Paulo: Hemus, 2002.
- (Fazenda, 1993) Fazenda, Jorge M.R. **Tintas e Vernizes: ciência e tecnologia.** São Paulo: Abrafati, 1993. Vol.2.
- (Harper, 2001) Harper, Charles A. **Handbook of materials for product design.** New York: McGraw-Hill, 2001. 3. ed.

- (Maia, 2003) Maia, Samuel Berg. **O Vidro e sua Fabricação**. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.
- (Miles,1975) Miles, Derek Cyril e Briston, John Herbert. **Tecnologia dos Polímeros**. Tradução: Caetano Belliboni. São Paulo, Polígono, Ed. da Universidade de São Paulo, 1975.
- (Noll, 1968) Noll, Walter. **Chemistry and Technology of Silicones**. New York: Academic Press, 1968.
- (Navarro, 1991) Navarro, Jose Maria Fernandes. **El vidrio**. CSIC: Madri, 1991.
- (Novaes, 2004) Oliveira, A. P. N. **Notas de aula da Disciplina: Vidro e vitrocerâmicos (EMC 1103-000)**. 1º trimestre de 2004. EMC/CTC/UFSC.
- (Oliveira et al., 1999) Oliveira, A. P. N. de e Alarcon, O. E. “**Revestimentos Cerâmicos: Fundamentos Tecnológicos**”, Cerâmica Informação, Jul/Ago/1999, pp 29 – 39.
- (Ministério do Estado do Planejamento e Orçamento, 1998) **Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat – PBQP-H**. Resolução nº 134 de 18 de dezembro de 1998 do Ministério do Estado do Planejamento e Orçamento. Disponível em <http://www.cidades.gov.br/pbqp-h/portaria134.htm> e acessado em 10 de dezembro de 2005.
- (Reed, 1995) Reed, j. S., **Principles of Ceramic Processing**, edition, John Willey & Sons, New York, 1995.
- (Rodrigues, 2002) Rodrigues, M. M. B. **Proposta de Modelo de Qualificação Evolutiva para Empresa Fabricantes de Blocos e Telhas de Cerâmica Vermelha**. Dissertação de Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002.
- (Santos, 1989) Santos, Pêrsio de Souza. **Ciência e tecnologia de argilas**. Editora Edgard Blücher Ltda: São Paulo, 1989. v1.
- (Souza, 2003) Souza, Fábio José Pinheiro. **Estudo e desenvolvimento de alternativas para aproveitamento de resíduos das indústrias de revestimentos cerâmicos**. Dissertação de Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003.

(Van Vlack, 1964) Van Vlack, Lawrence Hall. **Princípios de ciências e tecnologias dos materiais**. Rio de Janeiro: Campus, 1988. 2.ed.

ANEXO I

QUESTIONÁRIO

Senhor usuário

Para que possamos dar continuidade ao trabalho de dissertação de mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais, na área de materiais particulados, com o tema “Determinação de Parâmetros para Avaliação da Qualidade dos Recobrimentos Superficiais de Telhas Cerâmicas”, é necessário saber a sua opinião a respeito da qualidade dos recobrimentos (esmaltada, poliéster, acrílica e silicone) que são oferecidos nas telhas cerâmicas.

Num recobrimento de telha cerâmica, como você classifica, quanto ao grau de importância, os aspectos relacionados abaixo? Assinale com um **X** a coluna que julgar mais significativa.

Aspectos Tecnológicos	Muito importante	Importante	Pouco importante
Resistência à abrasão			
Resistência ao risco			
Impermeabilidade			
Inércia química			
Resistência a variações térmicas			
Resistência mecânica a flexão			
Resistência ao fogo			
Resistência ao empenamento			
Uniformidade de formas e dimensões			
Baixo peso específico			
Isolamento térmico e acústico			
Outros itens de interesse. (Citar)			

Aspectos Estéticos	Muito importante	Importante	Pouco importante
Textura			
Acabamento			
Brilho			
Cores			
Ausência de eflorescência			
Ausência de esfoliações			
Ausência de quebras			
Ausência de rebarbas			
Ausência de lascamento			
Queima adequada e uniforme			
Resistência ao manchamento			
Uniformidade de colorações			
Arestas finas e lisas			
Superfície sem rugosidades			
Outros itens de interesse. (Citar)			

Aspectos Funcionais	Muito importante	Importante	Pouco importante
Facilidade de limpeza			
Durabilidade			
Inexistência de gretagem e fissuras			
Resistência do esmalte à ação do gelo			
Outros itens de interesse. (Citar)			