

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO CIVIL**

SUZANE TESKE

**DESENVOLVIMENTO DE TELHA ECOLÓGICA A PARTIR DE
RESÍDUO DE GESSO DA CONSTRUÇÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2014

SUZANE TESKE

**DESENVOLVIMENTO DE TELHA ECOLÓGICA A PARTIR DE
RESÍDUO DE GESSO DA CONSTRUÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia de Produção Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Curitiba, sede Ecoville, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro de Produção Civil.

Orientador: Prof. Dr. André Nagalli

CURITIBA

2014

FOLHA DE APROVAÇÃO

DESENVOLVIMENTO DE TELHA ECOLÓGICA A PARTIR DE RESÍDUO DE GESSO DA CONSTRUÇÃO

Por

SUZANE TESKE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, defendido e aprovado em 26 de fevereiro de 2014, pela seguinte banca de avaliação:

Prof. Orientador – André Nagalli, Dr.
UTFPR

Prof. José Alberto Cerri, Dr.
UTFPR

Prof. Eloy Fassi Casagrande Jr., Dr.
UTFPR

Dedico este trabalho aos meus pais Elisabeth e Clovis Teske, por tudo o que fizeram e fazem por mim.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, o engenheiro supremo, pelo dom da vida, sabedoria, paciência, perseverança, amor, e por todo o cuidado, proteção e amparo que tem me concedido. Sou grata, por ter feito todos meus sonhos se tornarem realidade, cada um a seu tempo.

Aos meus pais, Elisabeth e Clovis Teske por sempre ter me dado todo o suporte físico e mental para o meu desenvolvimento e aprendizagem. Nunca poderei retribuir o tanto que fizeram por mim, mas se hoje posso ser alguma coisa, isto devo a eles. Também ao meu irmão Gustavo Teske por ser desde pequeno meu companheiro, e agora distante, nunca deixa de me dar seu apoio e carinho.

Ao meu noivo Wilson por me dar força quando esta estava acabando, a me inspirar em meio as minhas dificuldades, a dar mais alegria e sorrisos aos meus dias, obrigado por me amar! Sem ele, as vitórias viriam sem seu brilho e felicidade.

Agradeço ao meu orientador André Nagalli por ter me incentivado nas minhas ideias, por ser sempre solícito e fazer jus ao seu trabalho de orientador, me guiando em meio às dúvidas. Obrigado por dizer que ia dar tudo certo, por mais ansiosa que eu estivesse.

Aos amigos que puderam com seu carinho e auxílio dar forças para continuar a jornada feliz, e de cabeça erguida.

“Tu me farás ver os caminhos da vida; na Tua presença há plenitude de alegria, na tua destra, delícias perpetuamente”. Sl 16:11

RESUMO

TESKE, Suzane. Desenvolvimento de telha ecológica a partir de resíduo de gesso da construção. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia de Produção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

Este trabalho apresenta primeiramente o gesso na construção civil, suas aplicações, características e o desperdício associado. Na sequência é apresentada a legislação pertinente ao gerenciamento dos resíduos sólidos na construção, e mais especificamente as resoluções CONAMA nº307/02, nº431/11 em que o resíduo de gesso passou a ter uma reclassificação quanto a sua destinação. Com a reclassificação, este passou a ser considerado um material passível de reutilização e reciclagem. Em seguida são citados alguns estudos de caso que comprovam a possibilidade de reaproveitamento do gesso. O objetivo do trabalho foi investigar a viabilidade técnica de aproveitamento de resíduos de gesso como matéria-prima para materiais de construção, no caso, pela incorporação deste em telha. Assim, é feita uma descrição dos tipos de telhas, suas características e métodos de fabricação, como também a exposição de dois tipos de telhas recicladas. É descrito também o albedo, associado com o benefício de telhados brancos na redução da temperatura dentro das edificações nos dias de maior calor. Foi feita uma lista com as formas e cobrimentos possíveis para a adaptação do gesso na telha, e a partir de características favoráveis às telhas foi escolhido o modelo a ser detalhado, a partir de uma matriz avaliativa. O modelo escolhido foi o Colonial Gigante, com capa polimérica feita de resíduo de PET (politereftaleno de etileno) envolvendo o resíduo de gesso. Um modelo 3D foi desenvolvido, e a telha foi batizada de Telha GePET. Foi definida em laboratório a umidade e a massa específica aparente e unitária do resíduo de gesso. Diversas características da telha foram descritas, como suas dimensões, massa, a fonte da matéria prima, a produção, instalação do telhado, manutenção e durabilidade, o descarte após sua vida útil, o albedo, o isolamento térmico e o valor da telha. Concluiu-se que é possível a fabricação de uma telha com resíduo de gesso, juntamente com o resíduo de PET, tornando um produto sustentável e 100% reciclável, possuindo diversas vantagens. A telha também possui desvantagens, sendo que a maior é o seu preço que seria muito maior que os produtos concorrentes do mercado.

Palavras-chave: Reciclagem. Gesso. PET. Telha sustentável. Albedo.

ABSTRACT

TESKE, Suzane. Development of an ecologic tile preventient from building plasters waste. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia de Produção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

First of all this work presents plaster on civil construction, its application, features and its waste. In sequence is shown some legislation regarding solid waste management in building industries and specifically on the CONAMA resolutions n ° 307/02 and n ° 431/11 in which the residue of plaster has been reclassified about its destination. With the reclassification it is considered a feasible material to reuse and recycle. Then are mentioned some case studies that demonstrate the possibility of the reuse of plaster. The work objective was to investigate the technical feasibility of plaster waste as a raw material for building materials, in this case to be incorporated on a tile. So, a description is given of the types of tiles, its characteristics and manufacturing methods, as well as two types of recycled tiles. It is also described the albedo, associated with the benefit of white roofs in the temperature reduction of the buildings in the hottest days. A list of possible forms and coverings to adapt the plaster on the tile were made, and from the propitious characteristics of tiles an evaluative matrix was made, so a tile to be detailed was chosen from it. The chosen model was the Giant Colonial, with a polymeric cover made of PET (polyethylene terephthalate) waste involving the plaster waste. A 3D model was developed and the tile was called GePET tile. Moisture, density and true density of the gypsum residue was defined in the laboratory. Several features of the tile were described as their size, weight, the source of raw material, production, roof installation, maintenance and durability, discard after their life cycle, albedo, thermal insulation and the cost of the tile. It was concluded that manufacturing a tile with plaster waste is possible, associated with PET waste, making product sustainable and 100% recyclable having many advantages. The tile has also some disadvantages, one is the cost because it is much higher than the competing products of the market.

Key-words: Recycling. Plaster. PET. Sustainable tile. Albedo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ilustração da Telha Francesa.....	35
Figura 2 - Ilustração Telha Romana.	36
Figura 3 - Ilustração da telha colonial.....	36
Figura 4 - Ilustração da telha plana de sobreposição.	37
Figura 5 - Telhas de Concreto nos modelos a) Coppo Veneto e b) Plana.	39
Figura 6 - Exemplos de cortes transversais de telhas onduladas.	41
Figura 7 - Processo de fabricação de telhas de aço.	43
Figura 8 - Protótipo da ecotelha projetado.	44
Figura 9 - "Telha ecológica", com impermeabilização (esquerda) e sem impermeabilização (direita).	45
Figura 10 - Incidência do sol em um telhado escuro.	47
Figura 11 - Incidência do sol em um telhado claro.	47
Figura 12 - Imagem das telhas francesa e coppo veneto nas formas real a) e termográfica b), respectivamente.	48
Figura 13 - Identificação dos tipos de polímeros nas embalagens.....	51
Figura 14 - Fluxograma dos procedimentos realizados para o desenvolvimento do trabalho	53
Figura 15 - Moinho de bolas utilizado.....	57
Figura 16 - Definição da massa específica aparente.	58
Figura 17 - Definição da massa específica unitária com o frasco aferido.	59
Figura 18 - Modelo 3D da telha GePET.	64
Figura 19 - Dimensões da Telha GePET.	65
Figura 20 - Detalhe das dimensões de espessura da telha GePET.....	65
Figura 21 - Dimensões da parte posterior da telha GePET.....	66
Figura 22 - Detalhe do encaixe da telha GePET.	66
Figura 23 - Dimensões da lateral de menor raio da telha GePET.....	67
Figura 24 - Dimensões da lateral de maior raio da telha GePET.	67
Figura 25 - Detalhe das dimensões do apoio da telha GePET.....	68
Figura 26 - Detalhe do corte do apoio de maior dimensão da telha GePET.	68
Figura 27 - Detalhe do corte do apoio de menor dimensão da telha GePET.	69
Figura 28 - Quantidade de telhas por metro quadrado.....	73
Figura 29 - Inclinação mínima do telhado	74
Figura 30 - Montagem dos canais.....	75

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Sequência de utilização da pasta de gesso.	23
Quadro 2 - Valores das propriedades estabelecidas em norma.....	40
Quadro 3 - Dez possibilidades escolhidas para a próxima análise.	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Exigências físicas do gesso para construção civil.....	21
Tabela 2 - Exigências mecânicas do gesso para construção civil.....	21
Tabela 3 - Exigências químicas do gesso para construção civil.....	22
Tabela 4 - Cargas mínimas das telhas em esforço de flexão.....	38
Tabela 5 - Classificação das telhas onduladas.	42
Tabela 6 - Carga mínima à flexão por metro de largura de telha, de acordo com a categoria da classe.....	42
Tabela 7 - Matriz avaliativa das características da telha.	63
Tabela 8 - Massa do resíduo de gesso antes e após a estufa.	69
Tabela 9 - Determinação da massa específica aparente do resíduo de gesso.	70
Tabela 10 - Determinação da massa específica unitária do resíduo de gesso.	70

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABIPET	Associação Brasileira da Indústria do PET
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAGESSO	Associação Brasileira dos Fabricantes de Blocos e Chapas de Gesso
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EDD	Empacotamento Direto Dihidratado
NBR	Norma Brasileira
PET	Politereftalato de Etileno
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
UCOS	Umedecimento Compactação e Secagem
UV	UltraVioleta

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 OBJETIVOS.....	15
1.1.1 Objetivo Geral	15
1.1.2 Objetivos Específicos.....	15
1.2 JUSTIFICATIVA	16
2 REVISÃO DA LITERATURA	17
2.1 O GESSO NA CONSTRUÇÃO CIVIL	17
2.1.1 Propriedades do Gesso.....	17
2.1.1.1 Pega.....	18
2.1.1.1.1 Aditivos	18
2.1.1.2 Microestrutura, porosidade e resistência mecânica	19
2.1.1.3 Outras características.....	20
2.1.1.4 Parâmetros normativos	21
2.1.2 Aplicação do Gesso na Construção Civil.....	22
2.1.2.1 Pastas de gesso	22
2.1.2.2 Chapas de gesso acartonado	24
2.1.2.3 Placas de gesso	24
2.1.2.4 Blocos de gesso	25
2.1.2.5 Gesso de alta resistência.....	26
2.1.3 O Desperdício nas Construções e o Gesso	27
2.1.4 A Legislação Ambiental e o Gesso.....	28
2.1.5 Gerenciamento de Resíduos na Construção Civil	30
2.1.6 Alternativas Sustentáveis para o Gesso.....	31
2.2 COBERTURAS	33
2.2.1 Tipos de Telhas	34
2.2.2 Telhas Como Alternativas Sustentáveis	43
2.2.3 Coberturas e o Conforto Térmico	46
2.3 IMPERMEABILIZANTES.....	49
2.3.1 PET Reciclado	50
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	53
3.1 DEFINIÇÃO DA TELHA.....	54
3.2 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE, MASSA ESPECÍFICA APARENTE E DA MASSA ESPECÍFICA UNITÁRIA DO RESÍDUO DE GESSO.....	55

3.3 CARACTERÍSTICAS DA TELHA	60
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	62
4.1 DEFINIÇÃO DA TELHA.....	62
4.2 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE, MASSA ESPECÍFICA APARENTE E DA MASSA ESPECÍFICA UNITÁRIA DO RESÍDUO DE GESSO	69
4.3 CARACTERÍSTICAS DA TELHA	70
4.3.1 Massa	71
4.3.2 Fonte da Matéria Prima	71
4.3.3 Produção.....	72
4.3.4 Instalação do Telhado	73
4.3.5 Manutenção e Durabilidade	75
4.3.6 Descarte Após Sua Vida Útil	76
4.3.7 Albedo	77
4.3.8 Isolamento Térmico.....	77
4.3.9 Valor da Telha.....	78
4.4 VANTAGENS E DESVANTAGENS.....	79
4.4.1 Vantagens.....	79
4.4.1 Desvantagens	80
5 CONCLUSÕES	81
5.1 CONCLUSÕES	81
5.2 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	82
REFERÊNCIAS	83
APÊNDICE	92

1 INTRODUÇÃO

Os recursos naturais são utilizados como se nunca fossem acabar. Com a conscientização de que estes recursos são finitos e que há a necessidade de tomar uma providência em toda a sociedade, iniciou-se uma era em que palavras como “desenvolvimento sustentável” e “responsabilidade social” se tornaram mais populares. E isto não é diferente na indústria da construção civil, que além do grande consumo de recursos naturais, há o grande desperdício, sendo o maior gerador de resíduos nas áreas urbanas (ACHILLAS et al., 2011).

Na necessidade de controlar e implementar diretrizes para “a efetiva redução dos impactos ambientais gerados pelos resíduos oriundos da construção civil” (CONSELHO..., 2002) o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) definiu em 2002, na Resolução CONAMA nº 307/02, critérios e responsabilidades quanto à destinação dos resíduos que contribuem para a perda da qualidade ambiental ao serem descartados de maneira inadequada. O CONAMA apresentou três outras resoluções contendo alterações, sendo que uma mudança significativa que ocorreu na gestão do resíduo de gesso foi na Resolução CONAMA nº431/11.

O resíduo de gesso, antes desta resolução, era considerado como sem tecnologia ou viabilidade para o reaproveitamento ou reciclagem, e deveria simplesmente ser destinado a lugares apropriados de descarte. A partir da Resolução CONAMA nº 431/11, o gesso passou a ser considerado um produto passível de reciclagem e reaproveitamento tal qual materiais antes já assim considerados como plásticos, papelão, metais, vidros e madeiras (CONSELHO..., 2002). O gesso tem como agravante ser alvo de desperdícios na construção civil em todas as suas utilizações, seja em pasta, em chapa acartonada, bloco ou placas.

Com o intuito de obter uma destinação adequada para o resíduo de gesso é que diversos estudos estão sendo feitos, desde a reutilização do gesso após moagem e calcinação (PINHEIRO, 2011), até a utilização do gesso com outras finalidades como, por exemplo, o seu uso como fertilizantes na agricultura (PERES et al., 2008; GUETS, 2009).

Ao analisar o resíduo de gesso, verificou-se que a sua cor branca poderia ser favorável na fabricação de telhas brancas, fator este positivo na sua

comercialização. O telhado branco possui uma propriedade de refletância da energia solar, impedindo que essa energia seja absorvida e transformada em calor. Sendo assim é possível que a temperatura interna das edificações seja menor, em relação a outros tipos de telhados. A diminuição da temperatura interna é favorável nos períodos de calor, e também em grandes cidades em que é conhecido o fenômeno das ilhas de calor.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um modelo conceitual de telha cuja matéria prima principal seja o resíduo de gesso proveniente de obras civis.

1.1.2 Objetivos Específicos

A fim de alcançar o objetivo geral, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- i. Listar formas de telhas e cobrimentos viáveis para serem usados juntamente com resíduo de gesso;
- ii. Definir características favoráveis para a telha e estabelecer uma matriz avaliativa;
- iii. Avaliar as possibilidades;
- iv. Caracterizar a massa específica aparente, unitária e a umidade do resíduo de gesso.
- v. Propor modelo conceitual;
- vi. Determinar as características do modelo;

1.2 JUSTIFICATIVA

Existe uma grande preocupação quanto à utilização dos recursos naturais, uma vez que a construção civil é uma grande consumidora de matérias primas como também uma grande geradora de resíduos. A urgência quanto a esse assunto exigiu que este setor desenvolvesse tecnologias quanto à redução dos resíduos, reutilização ou reciclagem.

Para os resíduos de gesso, este assunto entrou em evidência após a entrada de vigor da Resolução CONAMA n°431/11, na qual o gesso passou a ser considerado um material reciclável pertencente à classe B. Esta decisão implica em reconhecer que existe viabilidade técnica e econômica para a prática de reciclagem de gesso no Brasil. Portanto, no Brasil é necessária a implantação e maior desenvolvimento destas tecnologias para ser feita a destinação com maior aproveitamento.

Desta forma a produção da telha de gesso, além de estabelecer uma destinação para os resíduos de gesso, traria também o benefício da cor branca na cobertura, acarretando em uma diminuição da temperatura interna das edificações principalmente nos dias de maior incidência de energia solar.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo aborda, a partir da literatura estudada, os diversos tópicos em que o tema principal do trabalho está incluído. Nele são vistos as características do gesso, suas aplicações na construção civil, a legislação ambiental referente, e algumas tecnologias existentes para reciclagem. Neste capítulo também são abordados os tópicos relacionados às telhas, os tipos, sua produção, algumas telhas recicladas e as características favoráveis a elas.

2.1 O GESSO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O gesso produzido no Brasil é feito a partir de matérias primas naturais, e seu processo produtivo inclui: extração do minério, britagem, moagem grossa, estocagem com homogeneização, secagem, calcinação, moagem fina, ensilagem e ensacamento. A calcinação é um processo industrial de aquecimento em um ou dois fornos cujo produto é o hemidrato puro ou contendo também gipsita ou anidrita, sendo que a composição do produto dependerá de sua aplicação (CINCOTTO; JOHN, 2007). As impurezas presentes como SiO_2 , Al_2O_3 , FeO , $CaCO_3$, Mg não passam de 6% (PETRUCCI, 1998). As proporções dos elementos, a eventual presença de inertes e sua finura são determinantes para a caracterização das propriedades do gesso no estado fresco ou endurecido, incluindo propriedades mecânicas, físicas, tempo de pega e outros (CINCOTTO; JOHN, 2007).

2.1.1 Propriedades do Gesso

O gesso é o aglomerante menos utilizado no Brasil, porém ele apresenta características e propriedades importantes como a plasticidade da pasta fresca e a lisura da superfície endurecida, como também o endurecimento rápido (AMBROZEWICZ, 2012).

2.1.1.1 Pega

A velocidade de pega do gesso é umas das propriedades mais importantes, pois em muitos casos esta velocidade de reação é limitadora de seu uso. (CINCOTTO; JOHN, 2007, p.743).

A pega da pasta do gesso se inicia em contato com água suficiente, iniciando um processo químico de hidratação, na qual o material anidro ou hemidrato em pó é transformado em hidrato na reação proveniente do pó com a água. Ao longo da hidratação acontece o aumento da resistência mecânica da pasta do gesso (CINCOTTO; HINCAPIE, 1997).

Este fenômeno de ganho de resistência e pega acarreta em uma redução do volume de água, pois esta combina com os anidros, formando o sulfato de cálcio hidratado de volume maior. Assim as partículas se aproximam progressivamente se aglomerando, gerando um aumento da viscosidade aparente da pasta. Esse processo de hidratação, que pode durar até 2 horas, faz com que os poros diminuam com o tempo, e é adquirida uma resistência também progressivamente maior (CINCOTTO; JOHN, 2007). A presença de impurezas, origem geológica da matéria prima, finura e forma das partículas, relação água/gesso, temperatura da água, tempo e velocidade de mistura e presença de aditivos são fatores que influenciam o tempo de pega e o endurecimento (KARNI; KARNI, 1995).

2.1.1.1.1 Aditivos

Para amenizar os efeitos da pega rápida, aditivos podem ser usados na composição da pasta de gesso. Os aditivos são substâncias que em geral modificam as propriedades das superfícies dos cristais, em tamanho, morfologia e arranjo, modificando o processo de hidratação da pasta de gesso. (SONG et al., 2010).

Existem aditivos retardadores ou aceleradores de pega, que se adicionados em pequena quantidade, diminuem ou aumentam a velocidade de hidratação, influenciando também em outras propriedades do material (CINCOTTO; JOHN,

2007). Os retardadores mais tradicionais são os ácidos cítrico e tartárico, o fosfato sódico, o citrato de sódio, o boráx e a queratina (PERES; BENACHOUR; SANTOS, 2008).

Existem outros tipos de aditivos usados para auxiliar nas propriedades do gesso, seja em pasta ou pré-moldado. Na produção de pré-moldados resistentes à água existem os aditivos hidrofugantes que são aplicados à superfície como pintura ou adicionado na água de empastamento. Para evitar grumos existem os aditivos umectantes, como também os aditivos aerantes, estes que melhoram também a trabalhabilidade e diminuem a densidade dos pré-moldados por conta da incorporação de ar. Os aditivos reforçadores de aderência tem a finalidade de aumentar a resistência de arrancamento das pastas de gesso. Os aditivos fluidificantes reduzem a quantidade de água para empastamento e é usado na produção de pisos autonivelantes, pré-moldados e cola de gesso. Na aplicação sobre bases porosas são usados os aditivos retentores de água, cuja retenção pela base pode prejudicar a recristalização do hemidrato em dihidrato (PERES; BENACHOUR; SANTOS, 2008).

2.1.1.2 Microestrutura, porosidade e resistência mecânica

As propriedades físico-mecânicas do gesso dependem das ligações dos cristais. Os defeitos nas ligações se encontram caracterizados pelos poros. (CINCOTTO; JOHN, 2007). A resistência do material segundo Lewry e Williamson (1994) depende mais especificamente do: tamanho e da forma dos cristais, ligações entre eles, das impurezas presentes e da porosidade da estrutura devido ao excesso de água de empastamento.

A resistência mecânica é controlada pela presença de defeitos. Controlada a moldagem, uma fonte de defeitos, a porosidade produzida pela evaporação da água não consumida pela reação da hidratação é que delimita a quantidade de defeitos por meio dos poros, determinando a sua resistência (CINCOTTO; JOHN, 2007). Quanto maior for a relação água/gesso menor será a resistência mecânica. Outros

fatores que influenciam a resistência mecânica é a idade, condições ambientais de endurecimento e condições de uso do material (KARNI; KARNI, 1995).

2.1.1.3 Outras características

Segundo Karni e Karni (1995) o isolamento térmico se deve à estrutura porosa do material. Ele pode ser considerado um ótimo isolante térmico ao comparado com outros materiais apresentando condutividade térmica aproximadamente igual a $0,3 \text{ kcal/m}^2\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C}$, podendo variar com sua densidade (PETRUCCI, 1992).

De igual forma o material poroso, como também de baixa densidade auxilia o isolamento acústico, pela dissipação da onda mecânica pelo atrito gerado na passagem do ar por meio dos poros (SILVA; SILVA, 2004).

A higroatividade é a capacidade do gesso de absorver e liberar o excesso de umidade contido no ambiente (PERES; BENACHOUR; SANTOS, 2001). Essa característica é possível devido a micro porosidade e permeabilidade ao ar úmido, facilitando a troca de umidade com o ambiente e assim possibilitando o equilíbrio higrotérmico, absorvendo a umidade quando em excesso e liberando umidade quando o ambiente estiver seco (ATUAL, 2013).

A resistência ao fogo em uma edificação depende da estabilidade e integridade dos elementos que a compõem quando ocorrem as elevadas temperaturas (CINCOTTO et al., 1985). O gesso além de um material mineral e incombustível, quando elevada a sua temperatura durante um incêndio as suas moléculas de água são inicialmente liberadas, retardando o aquecimento e conseqüentemente os danos à vedação. Os materiais confeccionados com gesso têm aproximadamente 21% de água de cristalização em seu peso (BELMILOUDI; MEUR, 2005).

2.1.1.4 Parâmetros normativos

A NBR 13207 (ASSOCIAÇÃO..., 1994) classifica por meio da aplicação dois tipos de gesso: de revestimento e de fundição. Para a determinação das propriedades físicas do pó a NBR 12127 (ASSOCIAÇÃO..., 1991a) estabelece os padrões dos ensaios de granulometria e massa unitária. Para a determinação das propriedades físicas e mecânicas do gesso a normatização é feita pelas NBR 12128 e NBR 12129 (ASSOCIAÇÃO..., 1991b e c) respectivamente, em que o gesso é ensaiado para a obtenção de sua consistência normal, tempo de pega, dureza e resistência à compressão. Os ensaios relativos às exigências químicas para o gesso na construção civil são normatizados pela NBR 12130 (ASSOCIAÇÃO..., 1991d), determinando os teores de água livre e de cristalização, teores de óxido de cálcio de anidrido sulfúrico.

As exigências físicas, mecânicas e químicas do gesso para a construção civil são definidas pela NBR 13207 (ASSOCIAÇÃO..., 1994) e se encontram nas Tabelas 1, 2 e 3.

Tabela 1 - Exigências físicas do gesso para construção civil

Classificação do Gesso	Tempo de pega (min) (NBR 12128/91)		Módulo de finura (NBR 12127/91)
	Início	Fim	
Gesso fino para revestimento	> 10	> 45	< 1,10
Gesso grosso para revestimento	> 10	> 45	> 1,10
Gesso fino para fundição	04 à 10	20 à 45	< 1,10
Gesso grosso para fundição	> 10	> 45	> 1,10

Fonte: ABNT NBR 13207/94.

Tabela 2 - Exigências mecânicas do gesso para construção civil

Determinações Físicas e Mecânicas	Limites
Resistência à compressão (NBR 12129/91)	> 8,4 MPa
Dureza (NBR 12129/91)	> 30,0 N/mm ²
Massa unitária (NBR 12127/91)	> 700,0 kg/m ³

Fonte: ABNT NBR 13207/94.

Tabela 3 - Exigências químicas do gesso para construção civil

Determinações Químicas	Limites (%)
Água Livre	máx 1,3
Água de Cristalização	4,2 a 6,2
Óxido de cálcio (CaO)	mín 38,0
Anidrido sulfúrico (SO ₃)	mín 53,0

Fonte: ABNT NBR 13207/94.

2.1.2 Aplicação do Gesso na Construção Civil

O primeiro aglomerante utilizado pelo homem foi a argila cujo uso é encontrado em citações Bíblicas. Não se pode saber a origem exata do uso do gesso como aglomerante, porém pode-se supor que a descoberta tenha sido feita acidentalmente por meio da proximidade de pedras gipsitas ou calcárias com o fogo, e depois com a presença de umidade resultaria em uma “pasta aglomerante”. O gesso foi encontrado então em algumas edificações egípcias por meio da utilização do sulfato de cálcio impuro (PETRUCCI, 1998).

Atualmente a grande maioria da utilização no Brasil é o gesso na forma de pasta para revestimentos de alvenaria e em componentes como blocos, painéis, forros e divisórias (CINCOTTO; JOHN, 2007).

2.1.2.1 Pastas de gesso

O revestimento com pasta de gesso possui muitas vantagens, estas simplificam o processo, pois oferecem uma superfície branca e lisa que dispensa a aplicação de massa corrida quando houver aplicação de tinta. O intervalo entre a aplicação da pasta e o acabamento com a pintura é mais rápido por conta da sua alta velocidade de hidratação permitindo maior agilidade da obra com a simplificação do processo. Nas obras tradicionais o traço da água/gesso é feito pelo gesseiro, e

dessa mistura depende a consistência perfeita para a aplicação e o tempo que esta consistência é mantida (CINCOTTO; JOHN, 2007).

A seguir se encontra um resumo do preparo da pasta do gesso com base em John e Antunes (2000) adaptado no Quadro 1.

Etapa	Descrição
Polvilhamento	O pó é polvilhado na água preenchendo toda a amassadeira por igual. A quantidade de pó é a necessária para que toda ou quase toda a água superficial seja absorvida.
Espera I	É feito um período de repouso que corresponde ao período de dissolução do hemidrato.
Mistura	Parte da massa então é misturada, permanecendo o resto em repouso na amassadeira.
Espera II	Mais uma vez é feito um intervalo até que ela possa ser utilizada.
Aplicação I	Uma vez que a consistência adequada para a aplicação é alcançada, cuja determinação é empírica, a massa que foi misturada pelo gesseiro passa a ser utilizada.
Aplicação II	Quando a pasta previamente misturada for totalmente usada, será a vez da segunda parte que estava em repouso. Dificilmente será necessário fazer a sua mistura por causa do tempo de espera.
Fim do tempo útil	Ao ultrapassar a consistência máxima adequada para aplicar a pasta, ainda poderá fazer adição de água para voltar à consistência adequada e ser utilizada no acabamento final, porém a pasta terá aumento de porosidade e perda de resistência.
Final da utilização	Nesta fase o gesso está quase completamente hidratado não sendo mais útil para o serviço. Por mais que água seja adicionada à pasta para prolongar sua utilização, não existe mais aderência entre a última camada e o revestimento já aplicado.

Quadro 1 - Sequência de utilização da pasta de gesso.

Fonte: Adaptado de Antunes e John (2000).

O gesso apresenta maior aderência em superfícies mais porosas, secas e quando a relação água/gesso é mais baixa. Um estudo no Brasil apresentou resistências de aderência entre 0,4 e 1,7 MPa (CINCOTTO; JOHN, 2007).

Infelizmente as perdas na utilização de pastas de gesso são consideradas bem altas devido basicamente ao tempo de pega curto do gesso brasileiro combinado com a ausência de definições de: quantidade de água de amassamento e processos de controle de qualidade (CINCOTTO; JOHN, 2007; SOUZA, 2009).

2.1.2.2 Chapas de gesso acartonado

As chapas de gesso acartonado, comercialmente conhecido no Brasil como drywall, possuem dimensões de 180 a 360 cm de comprimento, 60 a 120 cm de largura, e espessuras de 9,5 a 15 mm. O processo de produção é por meio de laminação contínua em que uma mistura de gesso, água, aditivos é envolvida por duas lâminas de papel kraft, que servem de reforço para os esforços de tração. Essa tecnologia é muito usada em divisórias internas e forros nos mercados europeus e norte-americano. (CINCOTTO; JOHN, 2007; PERES; BENACHOUR; SANTOS, 2001).

Segundo a NBR 14715 (ASSOCIAÇÃO..., 2010) existem três tipos de chapas usadas em paredes, revestimentos ou forros: standard (ST), resistente à umidade (RU) usado em ambientes sujeito à umidade por tempo limitado, e resistente ao fogo (RF) que conta com uma proteção especial contra esse elemento. As chapas podem também ter bordas quadradas ou rebaixadas.

O processo construtivo das divisórias internas e forro nas construções é constituído basicamente em quatro etapas: locação e fixação das guias, colocação dos montantes, preparo e colocação das chapas e o acabamento final (TANIGUTTI, 1999).

As especificações técnicas, geométricas e físicas das placas são determinadas pela norma NBR 14715 (ASSOCIAÇÃO..., 2010).

2.1.2.3 Placas de gesso

As placas de gesso liso moldado são geralmente produzidas nas dimensões de (60x60) cm com borda reforçada, sendo normatizadas pela NBR 12775 (ASSOCIAÇÃO..., 1992) sendo possível encontrar também placas de (65x65) cm, com espessuras que variam entre 12 e 20 mm, cuja maior aplicação são os forros de gesso (CINCOTTO; JOHN, 2007). A placa é composta por uma mistura de água,

gesso, com possíveis incorporações de fibras, aditivos e pigmentos (DOMÍNGUEZ; SANTOS, 2002).

A NBR 12775 (ASSOCIAÇÃO..., 1992) menciona as exigências das resistências mecânica e à flexão, do elemento de fixação das placas, dimensões das placas, espessura e largura do reforço lateral, dimensões dos encaixes e espessura da região central. As resistências das placas são bastante variáveis, sendo diminuídas por conta de cortes devido às modulações dos ambientes, acarretando em grande perda do material (CINCOTTO; JOHN, 2007).

O forro de gesso é muito utilizado no Brasil para ocultar tubulações, rebaixar o teto, ocultar vigas, embutir luminárias e outros. Sua sustentação pode ser feita por três formas: tirantes de arame galvanizado, estrutura metálica e gesso removível com estrutura fixa metálica (BORGES, 2009).

2.1.2.4 Blocos de gesso

Os blocos de gesso moldados são paralelepípedos vazados ou maciços de grandes tamanhos e tem dimensões médias de (66x50) cm e espessuras de 7 ou 10 cm. O processo construtivo, usando o bloco de gesso, é o mesmo dos blocos cerâmicos ou de concreto, porém ao invés de utilizar a argamassa como ligante é usada cola ou pasta de gesso. Os tipos de blocos existentes e suas cores características são: simples (S) na cor branca, hidrófugos (H) de cor azul, reforçados com adição de fibra de vidro (GRG) na cor verde, e os de cor rosa que são hidrófugos reforçados com adição de fibra de vidro (GRGH) (SOUZA, 2009).

As características técnicas deste produto são estabelecidas por normas internacionais, devido à falta de normas brasileiras (BENACHOUR; PERES, SANTOS, 2001).

O sistema construtivo com blocos de gesso é ainda pouco utilizado, mas pode ser considerado prático, pois oferece economia de espaço e ainda podem ser feitos vários tipos de acabamento (SOUZA, 2009). No Brasil por essa tecnologia ser considerada muito recente não existem normas em vigor para a especificação do

produto, porém foi enviado um conjunto de Projetos de Norma à ABNT em 2005 (ALTERNATIVAS..., 2007).

2.1.2.5 Gesso de alta resistência

Um mecanismo que vem sendo desenvolvido para aumentar a resistência de peças de gesso é por meio da prensagem. A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo em conjunto com Souza (2003), desenvolveu uma técnica em que utilizou-se o pó do Sulfato de Cálcio Hemihidratado ou o Fosfogesso são umedecido uniformemente com uma quantidade aproximada de 20% em massa de água relativa à massa de gesso, seguindo para uma compressão. Segundo o autor da invenção, Milton Ferreira de Souza (2003), desta forma será possível obter diversos outros usos do gesso para a construção civil como:

- i. placas de gesso reforçadas ou não por fibras;
- ii. vigas constituídas por placas de gesso reforçadas por arames de aço;
- iii. placas compostas de gesso e de polímeros para alto isolamento térmico e acústico;
- iv. placas e tubos com ultra baixa absorção de água”(Souza, 2003).

Esta nova tecnologia tem por objetivo, segundo Souza (2003), solucionar as dificuldades construtivas apresentadas pelo gesso, que ao utilizar a prensagem com uma pequena adição de água, produzirá elementos de alta resistência e baixa permeabilidade.

Kanno (2009) estudou mediante ensaios a resistência mecânica do gesso de alta resistência seguindo dois métodos, o Empacotamento Direto de Dihidratado - EDD e Umedecimento Compactação e Secagem – UCOS. O autor conclui que comparando o gesso tradicional com os métodos citados, estes produzem materiais com maior resistência mecânica (resistência a compressão máxima de 90 MPa), maior confiabilidade, menor porosidade, são mais tenazes e não desintegram na presença de água.

2.1.3 O Desperdício nas Construções e o Gesso

O desperdício não é considerado apenas o rejeito do canteiro de obras, mas toda e qualquer perda durante o processo. Sendo assim, o uso em excesso de alguns materiais também pode ser considerado desperdício (FORMOSO, 199?)

As perdas podem acontecer em três diferentes fases: a concepção, a execução e a utilização. Na fase da concepção o erro se deve na quantidade de produtos previamente calculada, resultando em um projeto não otimizado. Na execução as fontes de perdas podem ser as mais variadas: transporte de maneira errada, no recebimento inadequado, estocagem mal feita, falha na execução do traço, entre outros. Se a manutenção do edifício utilizar maior quantidade de material previsto anteriormente é caracterizada a perda na fase de utilização (AGOPYAN et. al., 2003).

O resíduo sólido da construção ao ser comparado com o resíduo urbano pode ser considerado em algumas cidades, segundo Pinto (1996), por volta de dois terços em massa de todos os resíduos gerados. Este assunto tem sido cada vez mais veiculado, uma vez que o desperdício dos materiais é associado com o uso de recursos naturais, de onde os materiais são provenientes. Isto coloca muitas vezes a indústria da construção civil no centro da discussão e pesquisa em busca do desenvolvimento sustentável.

Outro fator agravante é a falta de tecnologia do setor de edificações, tanto no Brasil como no mundo, sendo bem evidenciado o desperdício de materiais e mão de obra (LEUSIN, 1996). O processo brasileiro é ainda parcialmente artesanal e parcialmente convencional – no qual há divisão do trabalho homem e máquina (DACOL, 1996). Ainda no Brasil, é necessário atentar para três aspectos importantíssimos: a mão-de-obra pouco ou nada qualificada, a especificação dos materiais e componentes, e os equipamentos que auxiliam o trabalhador no melhor desenvolvimento do seu trabalho (AGOPYAN, 1999).

Especificamente na utilização do gesso na construção a realidade não é diferente. O gesso aplicado como revestimento gera grande quantidade de resíduos

devido ao endurecimento rápido, pela mão de obra não qualificada e pela dosagem empírica da pasta, como já visto (CINCOTTO; JOHN, 2007).

O programa Habitare financiado pela FINEP constatou em uma amostragem de três obras a aplicação de pasta de gesso como revestimento e foi detectado que a média de valores de desperdício foi de 45%. O observado foi que o consumo médio de gesso é influenciado pelo tipo de base em que é aplicado. Por exemplo, em uma amostra houve a economia de 14% por conta da espessura menor do que a teoricamente estabelecida de 5 mm (AGOPYAN et. al., 2003).

Segundo Aguiar (2004), o processo de separação do entulho de peças pré-moldadas e de gesso acartonado são facilitadas por terem maior tamanho e por ficarem separados de outros materiais construtivos, diferentemente da pasta de gesso que por conta de sua aderência a outros materiais, torna inviável a separação. O volume de resíduos gerados depende da modulação da obra e da qualidade das peças, sendo que a Associação Brasileira de Gesso (ABRAGESSO) estima um percentual de 5% no Brasil, porém numa pesquisa feita com instaladores o valor estimado foi de 12% (CINCOTTO; JOHN, 2003; MARCONDES, 2007).

Com relação aos blocos de gesso para alvenaria não há um número exato de desperdício por falta de dados, porém por conta de cálculo de consumo pode-se considerar uma perda de 5% do material (ALTERNATIVAS..., 2007). Nas peças pré-moldadas de gesso para forro, os resíduos são gerados principalmente pela quebra e manuseio no transporte armazenagem e no acabamento em que é utilizado pasta e cola de gesso (RIBEIRO, 2006).

2.1.4 A Legislação Ambiental e o Gesso

O estado federativo do Brasil criou em 1981 o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA – que é o órgão consultivo e deliberativo do Sistema Nacional do Meio Ambiente – SISNAMA – cuja instituição se deu pela Lei 6.938/81 (BRASIL, 2013). Esta foi sancionada antes da atual constituição federal, que foi a primeira dentre as constituições federais a abordar o tema do meio ambiente. Na

Constituição Federal, no Título VIII Da Ordem Social, no Capítulo VI Do Meio Ambiente, o art. 225 afirma: “Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações” (BRASIL, 1988).

Em especial para a construção civil, em 2002 foi publicada a Resolução CONAMA nº307/02 cujas preocupações incluem “a necessidade de implementação de diretrizes para a efetiva redução dos impactos ambientais gerados pelos resíduos oriundos da construção civil, considerando que a disposição de resíduos da construção civil em locais inadequados contribui para a degradação da qualidade ambiental” (CONSELHO..., 2002). Suas diretrizes, preceitos e procedimentos incluem diversas etapas no gerenciamento dos resíduos sólidos, desde a caracterização e classificação destes resíduos, sua coleta, armazenagem e destino final, sendo definidas as responsabilidades em cada etapa (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO DRYWALL, 2012).

Esta resolução apresentou três outras alterações até o presente momento, que são as Resoluções CONAMA nº348/04, nº431/11 e nº448/12. A alteração que compete ao escopo do projeto é quanto à classificação do resíduo de gesso presente no artigo 3º da Resolução. A classificação geral abrange quatro categorias: A, B, C e D. Até a Resolução CONAMA nº448/12 a Classe A permaneceu com a mesma classificação que é normatizada como: “resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados tais como:

a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;

b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;

c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;” (CONSELHO..., 2002 inciso I de art. 3º).

A Classe B é classificada como resíduos recicláveis que se deve dar outra destinação e incluem: “plásticos, papelão, metais, vidros, madeiras e gesso”

(CONSELHO..., 2002 inciso II de art. 3º). Esta classificação é a alterada pela Resolução CONAMA nº431/11, que incluiu o material gesso na Classe B como reciclável, onde nas versões anteriores era listado na Classe C, cuja classificação é: “resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação” (CONSELHO..., 2002 inciso III de art. 3º).

Houve também alteração na Classe D em relação à primeira Resolução CONAMA nº307/02, porém pela Resolução CONAMA nº348/04, cujos resíduos são “perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde, oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde” (CONSELHO..., 2002 inciso IV de art. 3º).

A resolução orienta os geradores de resíduos para que primeiramente não gerem resíduos, e se for não possível que seja feita “a reutilização, a reciclagem, o tratamento dos resíduos sólidos e a disposição final ambientalmente adequada.” (CONSELHO..., 2002).

2.1.5 Gerenciamento de Resíduos na Construção Civil

Ainda na Resolução CONAMA nº 307/02, para a gestão dos resíduos sólidos da construção civil, foi criado o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos que é o instrumento dos municípios para a implementação do gerenciamento de resíduos e deve abranger os seguintes aspectos:

- a) regulamentar os procedimentos e diretrizes para o exercício das responsabilidades dos pequenos e grandes geradores. Os grandes geradores tem a responsabilidade de elaboração do Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil;

- b) fazer o cadastramento de áreas aptas para o recebimento, triagem e armazenamento temporário para posteriormente serem enviadas as áreas de beneficiamento;
 - c) estabelecer o processo de licenciamento das áreas de beneficiamento, armazenamento e de envio final dos rejeitos;
 - d) proibir o envio dos resíduos a lugares não licenciados;
 - e) incentivar a reintegração dos resíduos reutilizáveis ou reciclados no ciclo produtivo;
 - f) definir os critérios de cadastro de transporte dos resíduos;
 - g) orientar, fiscalizar e controlar os envolvidos;
 - h) exercer ações educativas para reduzir a geração dos resíduos.
- (CONSELHO..., 2002 art. 5º e 6º)

Com relação ao gesso, a alteração da Resolução CONAMA nº431/11 implica que na classificação anterior deveria ser “armazenado, transportado e destinado em conformidade com as normas técnicas específicas”, sendo que na nova classificação deve ser “reutilizado, reciclado ou encaminhado a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura” (CONSELHO..., 2002). Assim sendo, o gesso passou a ser considerado reciclável ou reutilizável, e não simplesmente um elemento que não havia tecnologia suficiente para que fosse viável sua reutilização e fosse descartado.

2.1.6 Alternativas Sustentáveis para o Gesso

Um caminho viável que vem sendo estudado no Brasil é a reciclagem do gesso desperdiçado. No estudo de Nascimento e Pimentel (2010), o gesso hidratado passou pela moagem e requeima nas temperaturas de 160°, 180° e 200° em períodos de 6 horas. Segundo os autores os ensaios realizados apontaram para a viabilidade técnica do gesso reciclado. Como característica física do pó encontrou-se módulo de finura inferior a 1,1 sendo considerado gesso fino para revestimento, e a massa unitária caracterizada foi de 700 kg/m³, atendendo as exigências da NBR

13207/94. Em relação às características físicas da pasta, o gesso reciclado apresentou início de pega superior a 10 min e fim de pega superior a 45 min, se enquadrando na classificação de gesso fino ou gesso grosso para revestimento. Quanto à resistência a compressão, as três amostras calculadas não atenderam ao mínimo de 8,4 MPa exigido pela norma, porém nem mesmo o gesso não reciclado tomado como base atingiu essa exigência da NBR13207/94. Por fim os autores afirmam que os resultados observados apontam a viabilidade da utilização do gesso reciclado para moldagem.

Em outro estudo realizado sobre a reciclagem do resíduo de gesso feito por Pinheiro (2011), com simulação de processo em laboratório, sendo realizadas as etapas de moagem e calcinação, esta que foi feita em uma estufa elétrica sem circulação de ar, em que o tempo de permanência foi de uma hora em uma temperatura de 150° C. Nessas condições a única propriedade que não foi equivalente ao gesso comercial foi a trabalhabilidade, que foi menor. As propriedades de tempo de pega, resistência à compressão axial aos 7 dias e o consumo de energia se apresentou similar ao gesso comercial.

Pinheiro (2011) também estudou o gesso submetido a ciclos consecutivos de reciclagem para que fosse avaliada a constância de suas propriedades, sendo que foram avaliados os da primeira, terceira e quinta etapas. As características químicas e microestruturais do pó foram consideradas similares em todas as etapas, porém foi detectado alterações como redução da massa unitária e redução da granulometria, respectivamente do primeiro e no quinto ciclo. No estado fresco a pasta apresentou uma redução de trabalhabilidade com o decorrer dos ciclos causando dificuldade de homogeneização, porém houve o aumento de tempo de pega e na atividade cinética, o que é resultado da diminuição da massa unitária do pó ao longo dos ciclos. No estado endurecido, no decorrer dos ciclos de reciclagem foi observado uma diminuição da permeabilidade ao ar, resultando em um aumento da resistência à compressão axial, à tração na flexão, e o aumento da dureza superficial. No terceiro estudo, a autora adicionou 1,5% de aditivo superplastificante à base de policarboxilato à massa de gesso reciclado. No estado fresco a pasta apresentou uma melhor trabalhabilidade/fluidez que o gesso comercial, porém devido ao aumento da permeabilidade ao ar, o gesso não atendeu ao desempenho das resistências mecânicas no estado endurecido (PINHEIRO, 2011).

No setor de beneficiamento, a reciclagem para a produção de chapas de gesso acartonado tem um sistema próprio que é altamente empregado na Europa, Estados Unidos e Ásia. Segundo a *Gypsum Recycling International* (2013), o processo consiste na coleta e no transporte do resíduo até a empresa de reciclagem, onde é feito um processamento com o material para remoção das impurezas, moagem e inserção novamente no beneficiamento das chapas acartonadas. A empresa alega que os blocos e chapas de gesso são 100% recicláveis e que esta técnica desenvolvida e patenteada é viável financeiramente e auxilia para que os produtores de chapas de gesso acartonado tenham acesso a uma matéria-prima de boa qualidade e mais barata.

Outro objeto de estudo é o uso de resíduo de gesso como insumo agrícola. Peres et al. (2008) afirmam que a participação do gesso nesse setor é garantida, afirmação fundamentada em pesquisas de campo realizadas em Pernambuco. O processo consiste na remoção de produtos indesejados como pregos, madeiras, arames e outros, então o gesso é moído em moinhos de martelo e feito a separação granulométrica. No Paraná este processo é igualmente estudado. Gueths (2009) cita o caso da empresa Fertilizante Minorgan que pesquisou durante dois anos a adição do gesso ao adubo orgânico, na proporção de 5% em massa. O processo consiste em limpeza e trituração na fábrica, apesar de não ser relatada a procedência do gesso. O sulfato contido no gesso auxilia o crescimento celular das plantas e o cálcio reduz a acidez do solo, não existindo riscos de substâncias que contaminem o solo. A empresa está esperando o licenciamento ambiental pelo Instituto Ambiental do Paraná para a comercialização, sendo que esta aplicação consumiria 70 toneladas de gesso por mês.

2.2 COBERTURAS

As coberturas são parte essencial em edificações, pois protegem tanto o usuário quanto à própria edificação de agentes nocivos, mas para isso suas propriedades devem atender com desempenho estrutural, térmico, acústico, proteção contra incêndio, estanqueidade e outros (PERALTA, 2006). Existem

diversos tipos de coberturas, de variadas formas e materiais constituintes, porém neste trabalho serão abordadas as coberturas feitas por telhas.

2.2.1 Tipos de Telhas

A seguir serão relatados os tipos de telhas mais comuns no Brasil, sua forma de produção e características normativas.

Telhas Cerâmicas

Segundo a NBR 15310/09 (ASSOCIAÇÃO..., 2009) as telhas cerâmicas são fabricadas com argila conformada por extrusão e/ou prensagem e queimadas cujas propriedades devem atender as normas NBR 15310/09 e NBR 8039/83.

O processo de fabricação consiste nas etapas de: preparação da matéria prima e da massa, formação das peças, tratamento térmico e acabamento. Primeiramente a matéria prima, geralmente natural, é retirada de seus depósitos e beneficiada, então é feito um tratamento de dosagem da matéria-prima e dos aditivos, levando em consideração a técnica de fabricação que será aplicada. Na fabricação por prensagem, em que diversos tipos de prensas podem ser utilizadas, é considerada uma massa mais seca que é colocada em um molde de borracha ou outro material polimérico, e em seguida é fechado hermeticamente e uma pressão é aplicada por igual no molde (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA, 2013).

Outra opção de fabricação é a extrusão, em que uma massa mais plástica é colocada em uma extrusora, compactada e extrudada por meio de um bocal, e em seguida é cortada. Este processo especificamente pode ser considerado intermediário, sendo aplicada a prensagem logo após a extrusão. Em seguida é feito o tratamento térmico que consiste nas etapas de secagem e queima. Primeiramente a telha cerâmica é inserida em secadores com a temperatura entre 50°C e 150°C, para eliminar sua água de forma lenta e gradual. Em seguida é feito a queima em fornos contínuos ou intermitentes, em temperaturas entre 800°C e 1700°C, em que primeiramente é aquecido da temperatura ambiente até a desejada, então é mantida por algum tempo nesta temperatura e depois é resfriada até aproximadamente

200°C. É no tratamento térmico que a telha atinge suas propriedades finais. Os produtos cerâmicos são retirados, inspecionados, e enviados ao comércio, ou então passam para uma etapa de acabamento, que pode incluir: polimento, corte, furação, entre outros (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA, 2013).

Os tipos de telhas cerâmicas referidos na norma NBR 15310/09 (ASSOCIAÇÃO..., 2009) estão citados no anexo F da mesma, separando a classificação das telhas por quatro, sendo diferenciadas por suas características geométricas, por exemplo, as suas características de encaixe.

As Telhas planas de encaixe são aquelas às quais se “encaixam por meio de sulcos e saliências, apresentando pinos, ou pinos e furos de amarração, para fixação na estrutura de apoio” (ASSOCIAÇÃO..., 2009). O modelo caracterizado por esta definição é a Telha Francesa ilustrado a seguir da Figura 1.

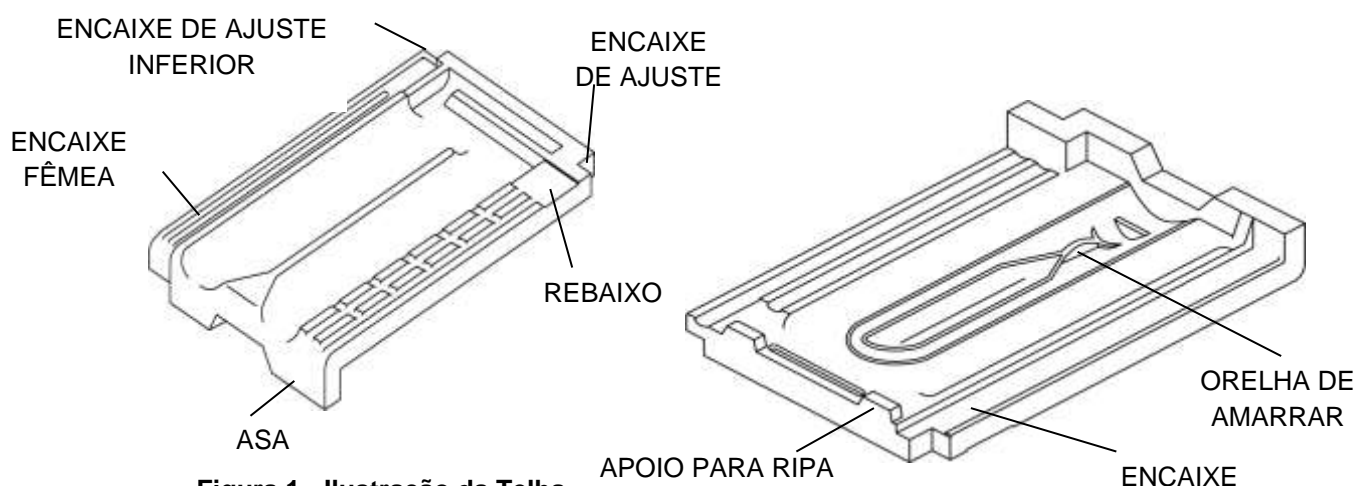


Figura 1 - Ilustração da Telha
Fonte: ABNT NBR 15310/09

Outro tipo de telha classificado na norma são as Telhas Compostas de encaixe, na qual se encontra a Telha Romana. Sua geometria é formada por capa e canal na mesma peça para que o encaixe possa ser feito entre elas, e sua fixação pode ser feita por pinos ou pinos e furos de amarração. A Figura 2 ilustra este tipo de telha (ASSOCIAÇÃO..., 2009).

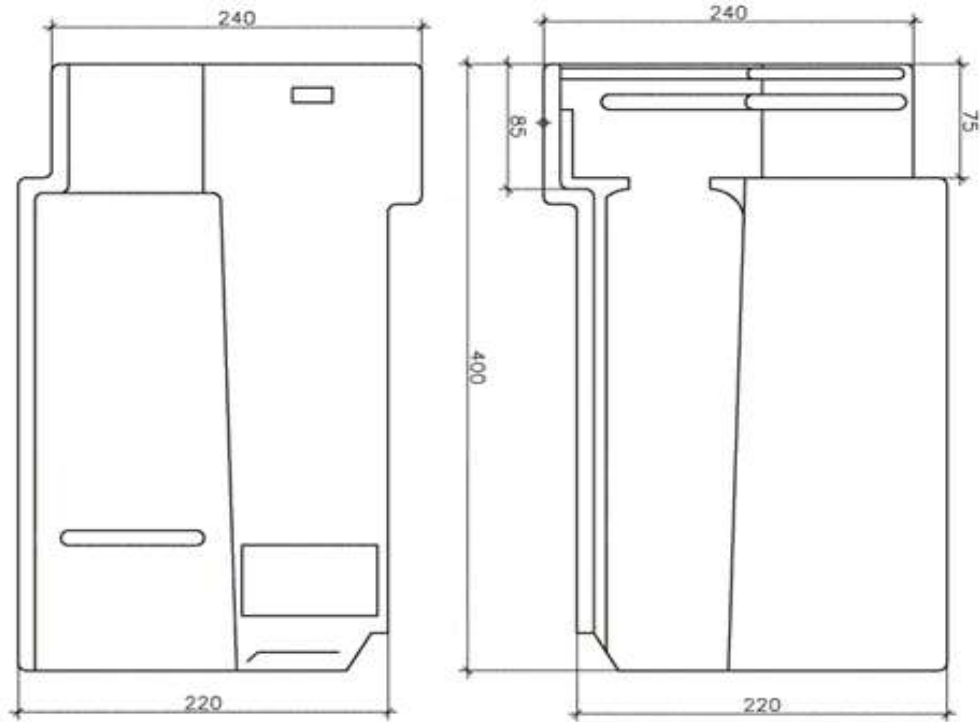


Figura 2 – Ilustração Telha Romana.
Fonte: ABNT NBR 15310/09.

O terceiro tipo são as telhas simples de sobreposição que são formadas pelos componentes independentes de capa e canal, e sua concavidade ou conexividade são os elementos que definem a utilização como capa ou canal respectivamente. Este tipo é representado pela telha colonial ilustrada na Figura 3.

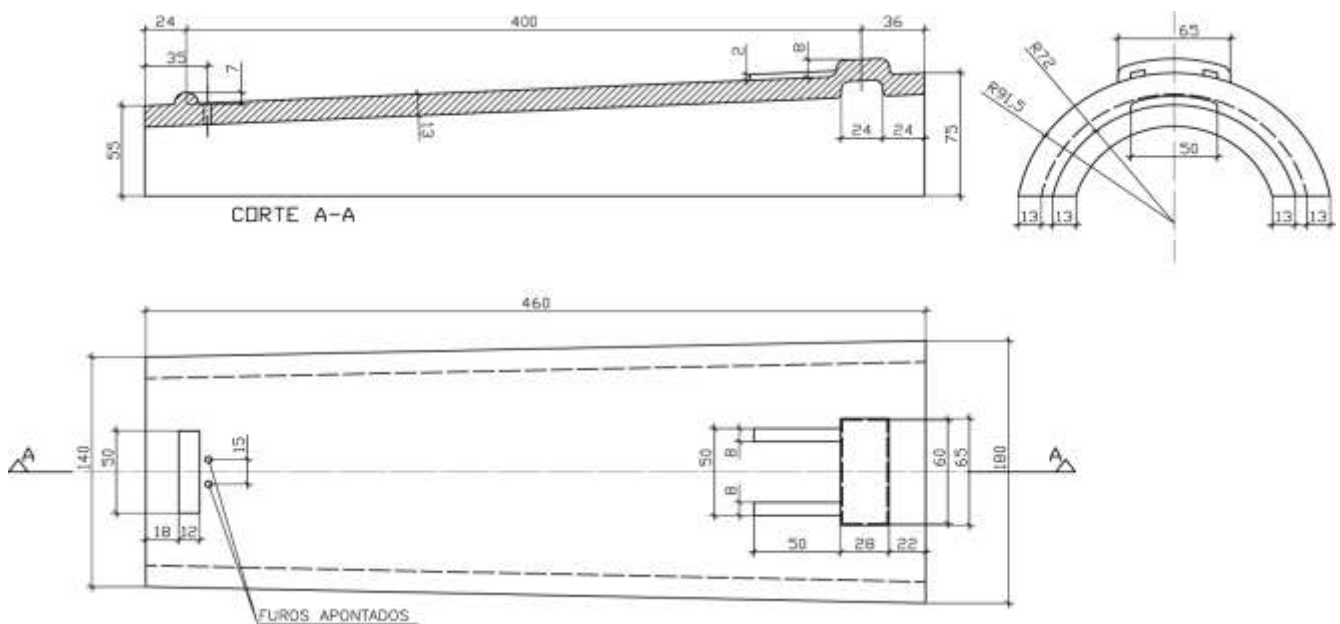


Figura 3 – Ilustração da telha colonial.
Fonte: ABNT NBR 15310/09.

Por fim existem as telhas planas de sobreposição que não se encaixam, mas simplesmente se sobrepõem umas as outras, sendo que sua fixação na estrutura pode ser feita por pinos e furos de amarração. A telha alemã, como outras também pode ser classificada como telha plana. A Figura 4 ilustra este tipo de telha.

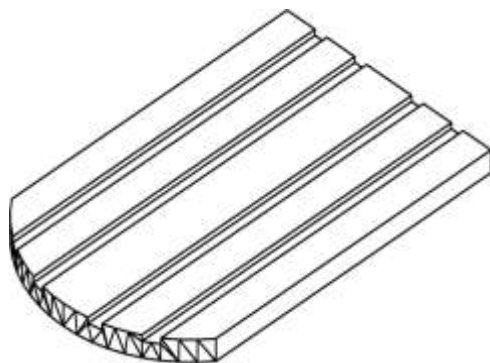


Figura 4 – Ilustração da telha plana de sobreposição.
Fonte: ABNT NBR 15310/09.

No sentido de melhor conhecimento de cada tipo separadamente, a ABNT normaliza especificamente as dimensões e outros aspectos de cada modelo em especial.

Para a produção de qualquer modelo de telha, é necessário que o fabricante tenha um Projeto de Modelo de Telha que funciona como padrão de produção, e ela deve indicar no mínimo suas medidas geométricas, dimensões, a declividade de utilização, a massa seca, a galga mínima que pode ser calculada conforme o Anexo E da NBR 15310 (ASSOCIAÇÃO..., 2009) e o rendimento médio das telhas em m² dimensionado conforme o Anexo A da NBR 15310 (ASSOCIAÇÃO..., 2009). Para ser comercializada, a telha deve apresentar gravada em relevo ou reentrância a identificação da empresa e alguns outros dados como modelo, rendimento médio, dimensões, sem que esta identificação prejudique seu uso.

A NBR 15310 (ASSOCIAÇÃO..., 2009) apresenta os seguintes características que a telha pode ou não pode ter:

- A telha pode apresentar eventuais ocorrências de “esfoliações, quebras, lascados e rebarbas que não prejudiquem o seu desempenho”, como também eventuais riscos e raspagens causadas durante a produção ou transporte;

- Ao ser segurada por uma extremidade e percutida, a telha deve apresentar som metálico;
- Conforme os ensaios especificados no Anexo A, o valor da “flecha máxima medida em um ponto determinado das bordas, ou no eixo central, no sentido longitudinal ou no transversal” (retilinearidade) não deve ser superior a 1% do comprimento efetivo, e para telhas planas não deve ser superior a 1% do comprimento efetivo bem como da largura efetiva. O valor da “flecha máxima medida em um dos vértices de uma telha estando os outros três apoiados em um mesmo plano horizontal” (planaridade) não deve ser superior a 5 mm;
- A massa da telha não pode ser superior a 6% da declarada no projeto do projeto do modelo da telha;
- O valor de tolerância não deve passar de $\pm 2\%$ de suas dimensões características;
- O limite de absorção de água admissível para telhas cerâmicas é de 20%;
- Ao serem executados os ensaios do Anexo B cuja finalidade é de verificação da impermeabilidade, a “telha não deve apresentar vazamentos ou formação de gotas em sua face inferior, sendo, porém tolerado o aparecimento de manchas de umidade” (ASSOCIAÇÃO..., 2009);
- Em situações especiais o Anexo H apresenta outras informações para a realização de ensaios onde outras exigências são necessárias;
- As cargas referentes à ruptura à flexão não devem ser inferiores aos valores apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Cargas mínimas das telhas em esforço de flexão.

Tipos de telhas	Exemplos	Cargas N
Planas de encaixe	Telhas francesas	1 000 (100 kgf)
Compostas de encaixe	Telhas romanas	1 300 (130 kgf)
Simples de sobreposição	Telhas capa e canal colonial Telhas plan Telhas paulista Telhas Piauí	1 000 (100 kgf)
Planas de sobreposição	Telhas alemã e outras	

Fonte: ABNT NBR 15310/09.

Telhas de Concreto

Segundo a NBR 13858 (ASSOCIAÇÃO..., 2009, p.1 e 2) as telhas de concreto tem forma retangular e “perfil geralmente ondulado, composto de cimento, agregado e água, aditivos ou adição, fornecido na cor natural ou colorido pela adição de pigmento à massa ou pela aplicação de uma camada superficial”.

Segundo a Associação Nacional de Fabricantes de Telhas Certificadas de Concreto (2013), a produção das telhas de concreto é feita da seguinte forma: primeiramente é feita uma separação granulométrica da areia e então é feita a mistura com o cimento e eventualmente com a pigmentação. Depois a massa é levada à extrusora, onde a telha passa por uma etapa de extrusão e prensagem por meio de uma forma que passa de baixo da extrusora. Então as peças são cortadas nas dimensões das formas. As telhas seguem na esteira, é aplicada uma camada de verniz, e então são levadas para o processo de cura. No caso de cura a vapor, a telha é submetida a uma média de 5 h a um vapor saturado, sendo que a cura será finalizada em volta de 24 horas. As peças então são desmoldadas, cobertas por uma camada de hidrofugantes, e então são armazenadas em paletas para a distribuição.

No Brasil são produzidos seis diferentes tipos de telhas de concreto em diferentes cores, cujos modelos segundo a Associação Nacional de Fabricantes de Telhas Certificadas de Concreto (2013) são: Tradição, Coppo Veneto, Coppo Grécia, Duplo S, Plana e Plana dupla. Na Figura 5 são ilustrados os modelos Coppo Veneto e Plana.

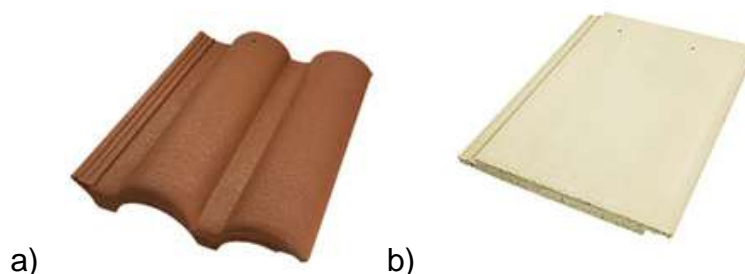


Figura 5 - Telhas de Concreto nos modelos a) Coppo Veneto e b) Plana.

Fonte: Associação Nacional de Fabricantes de Telhas Certificadas de Concreto, 2013.

A NBR 13858-2:2009 estabelece padrões às quais as telhas fabricadas e comercializadas devem obedecer. Na forma visual, a telha de concreto não deve apresentar “efeitos sistemáticos, tais como fissuras na superfície que resulta exposta

às intempéries, bolhas, esfoliações, desagregações, quebras e rebarbas” (ASSOCIAÇÃO..., 2009, p. 2). As telhas, independente se seus perfis, devem ter obrigatoriamente os seguintes elementos: encaixe lateral e nervura dupla, garras de fixação nos apoios e alinhamentos, e pré-furos para amarração e fixação. Ela deve também obedecer aos parâmetros geométricos limites apresentados na norma específica. A telha deve apresentar uma sonoridade semelhante ao som metálico ao ser suspensa por uma extremidade e percutida. O Quadro 2 mostra a seguir os valores limites de empenamento, absorção de água, permeabilidade, Carga à ruptura, flexão e massa, ao serem ensaiados conforme os Anexos da Norma NBR 13858-2 (ASSOCIAÇÃO..., 2009).

Propriedade	Valor limite
Empenamento	Ao apoiada sobre um plano horizontal, com a face inferior voltada para baixo, o afastamento não deve exceder 3 mm
Absorção de água	Não deve ser superior a 10%
Permeabilidade	Não deve apresentar: vazamento ou formação de gotas na face inferior. O aparecimento de manchas de umidade é tolerável
Carga de ruptura à flexão	Não deve ser inferior à 2.500 N
Massa	Massa da telha seca deve variar entre 4,3 kg e 5 kg

Quadro 2 - Valores das propriedades estabelecidas em norma.
Fonte: ABNT NBR 13858-2:09.

Telhas Translúcidas

As telhas translúcidas podem ser consideradas telhas que obedecem aos diversos formatos como, por exemplo, das telhas Romana, Francesa, Capa canal e outras associadas geralmente às telhas cerâmicas e Coppo Veneto associada às de concreto, porém são feitas de materiais diferentes para, por exemplo, trazer mais claridade para o ambiente. Neste caso a norma de telhas de concreto NBR 13858-2 (ASSOCIAÇÃO..., 2009) inclui em sua classificação as telhas translúcidas ou transparentes, que são feitas de “vidro, fibra de vidro ou outro material com o mesmo formato e dimensões das telhas de concreto, empregada para possibilitar a iluminação natural”. Ela deve apresentar resistência compatível com a telha de concreto e se ajustar a ela de tal forma que a estanqueidade seja mantida. Neste caso, são encontradas referências às telhas translúcidas não somente referente à telha de concreto, mas relacionadas às diversas outras formas como, por exemplo,

em telha cerâmica francesa encontrada na norma NBR 8039 (ASSOCIAÇÃO..., 1983).

A telha de vidro é feita a partir do método de fusão, onde os elementos são aquecidos de 1.600°C a 1.800°C, onde se tornam fluidos e são passíveis de moldagem na forma desejada, até sua temperatura cair para 800°C. Então é iniciada a fase de resfriamento, que deve ser feita em condições controladas e na peça por igual, na qual a temperatura reduz de 600°C a 100°C (A INDÚSTRIA..., 2013).

Telhas de Fibrocimento sem amianto

As telhas de fibrocimento sem amianto são normalizadas segundo a NBR 15210/13 partes 1 e 2 e é definida como um produto proveniente da “mistura homogênea de cimento Portland, agregados, adições ou aditivos, com reforço de fibras, fios ou filamentos, com exceção de amianto” (ASSOCIAÇÃO..., 2013, p.2). As telhas são moldadas em prensa, e obedecem a perfis ondulados ou outros variados (SERVIÇO NACIONAL..., 2013).

As telhas devem ter bordas retas e paralelas e podem apresentar bordas pré-cortadas ou terem furos para facilitar a montagem, sendo que para a montagem a parte lisa deve estar voltada para cima (ASSOCIAÇÃO..., 2013). A NBR 15210-1/13 dispõe de alguns exemplos de seções características, onde uma pode ser vista na Figura 6.

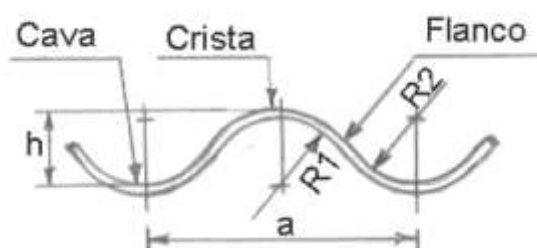


Figura 6 - Exemplos de cortes transversais de telhas onduladas.
Fonte: ABNT NBR 15210-1:2013.

A norma também classifica as telhas segundo a altura nominal da onda e a carga mínima de ruptura à flexão apresentados nas Tabelas 5 e 6. Para qualquer classe não se deve caminhar diretamente sobre as peças e algumas categorias podem apresentar mais de uma espessura nominal.

Tabela 5 - Classificação das telhas onduladas.

Classe	Descrição	h (mm)
A	Ondas pequenas	$15 \leq h \leq 25$
B	Ondas médias	$25 < h \leq 40$
C	Ondas grandes	$40 < h \leq 60$
D	Ondas muito grandes	$60 < h \leq 150$

Fonte: ABNT NBR 15210-1/13.

Tabela 6 - Carga mínima à flexão por metro de largura de telha, de acordo com a categoria da classe.

Categoria	Carga mínima de ruptura à flexão (N/m)									
	Classes									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A ($15 \leq h \leq 25$)	600	800	1000	1400	-	-	-	-	-	-
B ($25 < h \leq 40$)	-	800	1000	1400	2000	2500	3300	-	-	-
C ($40 < h \leq 60$)	-	-	-	-	-	2500	3300	4250	-	-
D ($60 < h \leq 150$)	-	-	-	-	-	-	-	4250	5600	7400

Fonte: ABNT NBR 15210-1/13.

As telhas de fibrocimento devem atender também aos seguintes requisitos estabelecidos cujos valores e parâmetros de ensaio se encontram na norma NBR 15210-1: características geométricas (largura, comprimento, espessura, número de ondas, passo, altura da onda, esquadro e altura da borda), características mecânicas (Carga de ruptura à flexão e flecha) e características físicas (permeabilidade, densidade aparente, água quente, imersão-secagem e calor-chuva) (ASSOCIAÇÃO..., 2013).

De igual forma as telhas de fibrocimento, que não excluem a adição de amianto, são caracterizadas pela norma NBR 7581 partes 1 a 3 (ASSOCIAÇÃO..., 2012).

Telhas Metálicas

As telhas metálicas são feitas de chapas finas de alta resistência de aço ou alumínio e tem geralmente o perfil ondulado ou trapezoidal (SERVIÇO NACIONAL..., 2013). Será abordado mais profundamente os aspectos concernentes às telhas de aço.

As telhas de aço são produzidas através de bobinas de aço previamente Zincadas, então é feita a perfilação onde cilindros superiores e inferiores moldam a

forma da telha, na sequência as chapas são cortadas no comprimento e por fim são empilhadas e embaladas. Os acabamentos fornecidos são: natural, pós pintado e pré pintado (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO METÁLICA, 2009). A Figura 7 mostra o processo de produção das telhas de aço.



Figura 7 - Processo de fabricação de telhas de aço.

Fonte: Manual Técnico. Telhas de aço. Associação Brasileira Da Construção Metálica, (2009).

As telhas de forma ondulada seguem a norma NBR 14513/08 - Telhas de Aço Revestido de Seção Ondulada, e as telhas de perfil trapezoidal seguem a norma NBR 14514/08 – Telhas de Aço Revestido de Seção Trapezoidal, onde são definidos os parâmetros de tolerância dimensional, as padronizações mais utilizadas e as características necessárias (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO METÁLICA, 2009).

2.2.2 Telhas Como Alternativas Sustentáveis

Uma das alternativas de criação da telha ecológica é o protótipo de telha desenvolvido por Naime e Silva (2010) feita a partir de pneus usados. Inicialmente o protótipo foi projetado no programa Computer Aided Design (CAD) depois foi moldado alguns exemplares a partir da remoldagem da peça de borracha. Por fim foram realizados ensaios de tração e fixação nas telhas, esta é feita por parafusos, e

por fim o ensaio de vedação. A Figura 8 mostra o protótipo no modelo computacional e o modelo ensaiado.



Figura 8 - Protótipo da ecotelha projetado.
Fonte: Naime e Silva, (2010).

Os testes de resistência, tração e vedação realizados atendem os padrões e se mostram viáveis para serem utilizados, porém existe muita resistência no setor da construção civil para a incorporação de alternativas como esta, como também haveria a necessidade de mão de obra especializada para a instalação desta, garantindo vedação adequada. Mas segundo Naime e Silva (2010) a ecotelha se mostrou “uma idéia simples, mas de alto valor no mercado da reciclagem e da preservação ambiental” (NAIME; SILVA, 2010, p. 27).

Outro estudo feito por Passos (2005) pesquisou a utilização de fibras da casca de coco verde juntamente com a celulose de papel pós-consumo, formando uma telha que tenha 100% de materiais reciclados. A fibra de coco neste caso é estudada como elemento de reforço da telha, como também é aplicado a fim de se dar uma destinação ao resíduo de coco. Na produção dos protótipos foram misturados diversos percentuais de fibra de coco e papel reciclado, sendo que a fibra de coco foi moída por um moinho de martelo e não houve nenhum processo de seu controle de água, pois a produção da telha é feita em meio aquoso. A mistura foi feita por meio de um Refinador Bauer, e a formação do compósito foi feito por intermédio do “desaguadouro”, que ao se adicionar um sistema com bomba a vácuo tira a água do compósito. Os painéis formados foram levados para a estufa a 70°C, prensados à frio a uma pressão de 2,45 MPa e apresentou uma espessura resultante de 2 mm. Em laboratório foram feitos os testes de flexão composta, para

obtenção do módulo de elasticidade e módulo de ruptura, tração, absorção de água de acordo com a norma ASTM D 1037-91. Observando os valores obtidos na análise, estimou-se que o melhor valor de fibras de coco adicionado fosse de 15%, cuja performance do compósito pareceu mais favorável. Observou-se também que com o aumento de fibra de coco incorporado, houve um aumento de absorção de água. Isso se deve as fibras de coco permitirem espaço entre as fibras de celulose onde a água fica retida. Além de ser uma cobertura sustentável existe ainda a vantagem de o papel ter propriedades acústicas, proporcionando um isolamento na edificação por conta das telhas (PASSOS, 2005).

O autor também testou o composto usando impermeabilização de cimento asfáltico, cujo sistema de impermeabilização se mostrou eficiente por ter reduzido em cerca de 5.500% no percentual de água absorvida em massa e em espessura, em relação ao modelo sem impermeabilização tendo 25% das fibras coco incorporadas, e 4.000% no modelo com incorporação de 15% de fibras de coco nos testes com 2 e 24 horas de duração (Passos, 2005). Na Figura 9 é ilustrada a telha com e sem impermeabilização.



**Figura 9 - "Telha ecológica", com impermeabilização (esquerda) e sem impermeabilização (direita).
Fonte: Passos, 2005.**

Após a impermeabilização, os valores de módulo de elasticidade aumentaram cerca de 58% e da ligação interna em 490%, em relação ao material com adição de 25% de fibras de coco, porém não foi apresentada nenhuma alteração no módulo de ruptura. Utilizaram-se as telhas em um telhado piloto a partir de fevereiro de 2004, não demonstrando até o momento presença de rachaduras ou permeabilidade à água. O custo estimado da produção da “telha ecológica”, como foi chamada a composição que contém a impermeabilização, foi cerca de R\$ 3,50, por unidade ou R\$ 3,65/m², sendo que pode ser empregada em habitações urbanas e rurais, não tendo seu uso restrito a programas sociais de eliminação de déficit habitacional (PASSOS, 2005).

2.2.3 Coberturas e o Conforto Térmico

Segundo a *American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers - ASHRAE* (2005), o conforto térmico é definido pela sensação de satisfação com a temperatura ambiente, sendo sua avaliação subjetiva e individual cujas variáveis ambientais envolvidas são: temperatura, umidade velocidade do ar ambiente e temperatura radiante média.

Segundo Moraes et al. (apud Abreu et al., 2011, 1999), o uso das coberturas tradicionais com materiais isolantes, reflexivos, pinturas com pigmentos isolantes e/ou reflexivos e o uso de forros sob a cobertura podem trazer melhorias no ambiente térmico interno de instalações. Os materiais que refletem à radiação solar reduzem o ganho de calor pelo telhado, sendo que uma cobertura exposta coleta energia solar, trazendo benefícios econômicos e conforto térmico nos dias de maior incidência solar (AKBARI ; WRAY, 2008).

Conforme a Figura 10, é possível observar a porcentagem de aquecimento do ar da atmosfera, do ar da cidade, de reflexão e de aquecimento da construção conforme *Green Coatings* (2013).

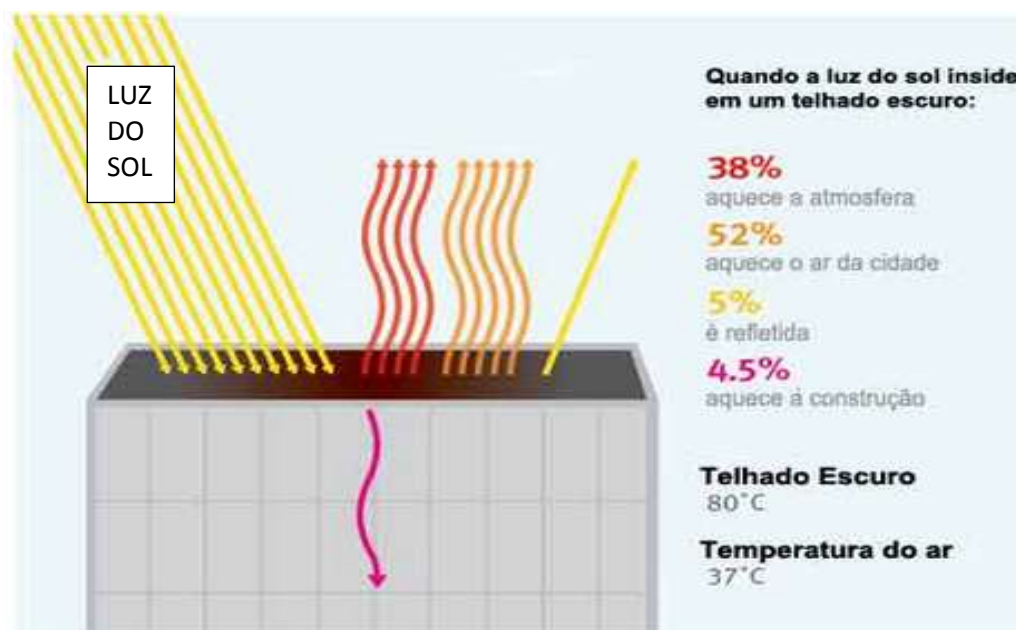


Figura 10 – Incidência do sol em um telhado escuro.
Fonte: Green Coatings, (2013).

Essa característica de reflexibilidade pode ser mensurada por uma propriedade chamada albedo. O albedo é definido pela *National Snow & Ice Data Center* (2013) como uma quantidade unitária e sem dimensão que indica quão bem uma superfície reflete a energia solar. Seu valor varia de 0 a 1, em que 0 significa que a superfície é uma “absorvedora perfeita” sendo comumente associada também a cor preta. O valor 1 significa que a superfície é uma “refletora perfeita” e é associada a cor branca. A Figura 11 mostra segundo a *Green Coatings* a incidência em um telhado com albedo elevado, ou seja um telhado branco ou frio.

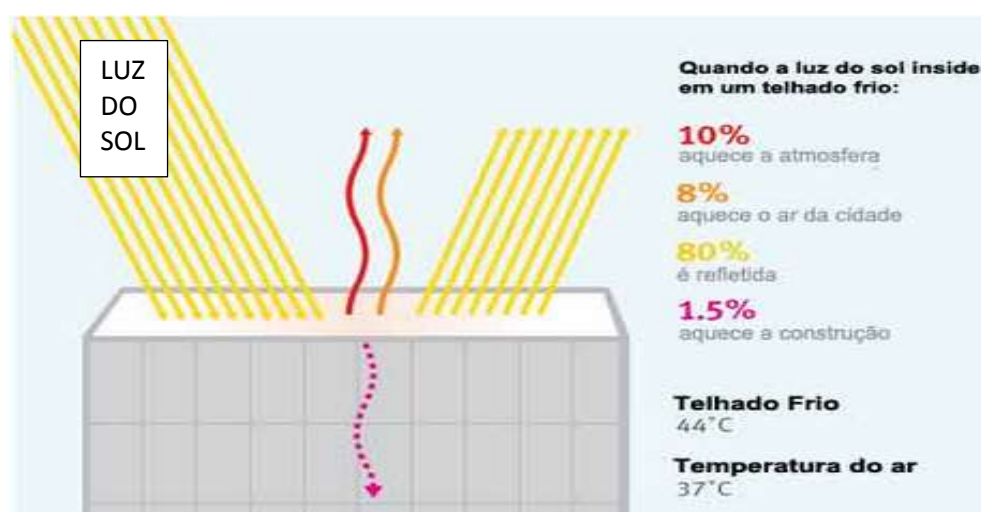


Figura 11 – Incidência do sol em um telhado claro.
Fonte: Green Coatings, (2013).

Um estudo feito por Abreu et al. (2011) analisou sete tipos de telhas, sendo elas: Telha Coppo Veneto Ondulada Cinza, Telha Coppo Veneto Ondulada Marfim, Telha Plana Marfim, Telha Plana Cinza, Telha de Barro Colonial esmaltada, Telha Ondulada de Cimento Amianto 6 mm e Telha de Barro Francesa. As telhas Coppo Veneto e as telhas Pana são feitas de concreto. Para o estudo as telhas foram colocadas ao ar livre, com uma inclinação de 7° de estrutura do telhado, a 1 m de distância do chão. Foram identificadas a partir de imagens termográficas as temperaturas máxima, mínima e média das superfícies inferior e superior de cada telha, em determinados horários. O termovisor TESTO 880 foi o responsável por coletar as imagens reais e termográficas a cada três horas de 0 a 24 horas das superfícies superior e inferior das telhas. O programa computacional Testo IRSof foi o responsável para traduzir as cores em medidas de temperatura, conforme a Figura 12.

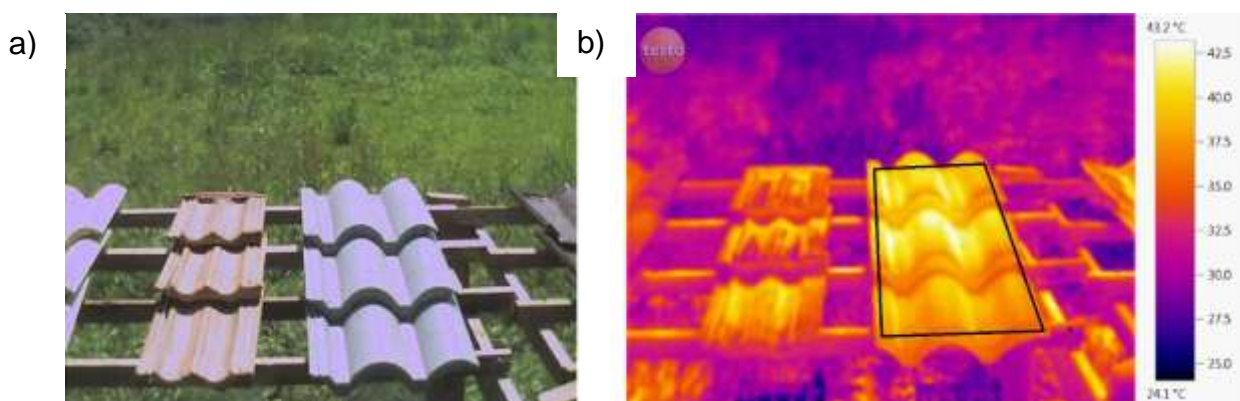


Figura 12 – Imagem das telhas francesa e coppo veneto nas formas real a) e termográfica b), respectivamente.

Fonte: Abreu et al., (2011).

Identificou-se que a forma ondulada e plana não teve influência no valor da temperatura nas telhas. A telha com maior amplitude de temperatura na superfície inferior foi a de barro colonial, enquanto nas telhas ondulada cinza, plana cinza e de amianto observou-se que a temperatura média da parte de cima foi superior das demais telhas, não havendo grande diferença entre elas. Porém, as telhas de coloração marfim foram as que obtiveram temperaturas mais baixas que as demais telhas, tanto na parte superior quanto inferior (ABREU et al., 2011).

Um estudo feito no *Lawrence Berkeley National Laboratory* por Menon et al. (2010), analisou em um modelo global o efeito da implementação de pavimentação e

telhados frios, e com isso concluiu que isso não só faria com que as cidades fossem mais frescas, mas também ajudaria ao planeta a diminuir a sua temperatura pela menor quantidade de emissão de CO₂ por conta da diminuição do consumo de eletricidade através da diminuição de uso de ar-condicionado para regular a temperatura. A produção da eletricidade emite CO₂, sendo que a diminuição do consumo de energia também reflete na diminuição da emissão de CO₂.

Apenas no verão no hemisfério norte, eles concluíram que aumentando o albedo das coberturas e pavimentações das cidades com uma população maior que 1 milhão, reduziria para 57 gigatoneladas (Gt) (1 Gt equivale a 1 bilhão de toneladas) de emissões de CO₂ (31 Gt de telhados e 26 Gt de pavimentos). Este é o dobro das emissões de CO₂ em todo o mundo em 2006, de 28 Gt. Seus resultados foram publicados online na revista *Environmental Research Letters* (MENON et al., 2010).

2.3 IMPERMEABILIZANTES

Como abordado anteriormente, o gesso é um material higroscópico que absorve ou libera a umidade que está contida no ambiente (BENACHOUR; PERES; SANTOS, 2001). Neste sentido, há a necessidade de materiais impermeabilizantes que impeçam o contato da água com o gesso da telha.

Um produto que manteria a propriedade branca, por apresentar essa cor seriam os impermeabilizantes brancos à base de resina acrílica. Eles são impermeáveis, flexíveis, resistem às intempéries, aos raios ultravioleta, ao ozônio e as névoas salinas. Este tipo de impermeabilização é indicado para áreas expostas como: lajes expostas sem trânsito, telhas de fibrocimento e outros (VIAPOL..., 2013).

Outra alternativa é o uso de polímeros, reciclados ou não, como camada de proteção para o gesso. É evidente que o rol de produtos não se atém apenas aos mencionados, sendo imprescindível o estudo mais profundo dos tipos de materiais que poderiam ser empregados juntamente com o gesso na telha.

2.3.1 PET Reciclado

O Poli (tereftalato de etileno) mais comumente conhecido como PET, é um polímero sintético termoplástico, o que significa que embora sólidos em temperatura ambiente, quando aquecidos tornam-se fluidos e podem ser moldadas por ação isolada ou conjunta de calor e pressão. O termo plástico vem do grego, *plastikus*, que significa material adequado à moldagem (MANO; MENDES, 1999). “Os termoplásticos são moldáveis a quente e possuem baixa densidade, boa aparência, são isolantes térmico e elétrico, são resistentes ao impacto e possuem baixo custo, portanto, apresentam uma larga faixa de aplicações” (PAOLI; SPINACÉ, 2005). O PET chegou ao Brasil em 1988 com uma trajetória semelhante ao resto do mundo sendo utilizado primeiramente na indústria têxtil e, a partir de 1993 passou a ter grande influência no mercado de embalagens, principalmente para embalar os refrigerantes (ALMEIDA et. al., 2013).

Porém, o PET juntamente com os outros polímeros, traz muito prejuízo ambiental, pois demora séculos para se degradar, ocupam muito volume nos aterros sanitários e, quando descartados em lugares inapropriados causam problemas ainda maiores para a natureza (PAOLI, SPINACÉ, 2005).

O PET em sua composição química não emite nenhum gás tóxico, então a reciclagem se mostrou uma alternativa viável possuindo diversas vantagens. Dentre elas podemos citar a diminuição dos resíduos de PET nas cidades, economia de energia, a preservação de fontes esgotáveis de matéria-prima, maior aproveitamento dos aterros sanitários como também a criação de empregos nas cooperativas de catadores de lixo e nas empresas que trabalham com o processo de reciclagem (PAOLI, SPINACÉ, 2005; ALMEIDA et. al., 2013).

O nono CENSO da Reciclagem de PET no Brasil divulgado pela ABIPET – Associação Brasileira da Indústria do PET – aponta que em 2012, 331 kton de PET foram recicladas, o dobro de 2004 quando o primeiro CENSO foi realizado, o que equivale a 58,9% de todo PET produzido. A forma mais comercializada é por meio de flakes (56%), e os três maiores usos finais para o PET reciclado são: Indústria

têxtil (38%), produção de resina insaturada e alquídicas (24%) e a produção de embalagens para alimentos e não-alimentos (18%) (ABIPET, 2013).

Existem diversos tipos de reciclagem, sendo que a mecânica é a mais comum no Brasil por conta de diversos fatores como baixo investimento para instalação da planta, e da mão de obra, do grande volume de polímero pós-consumo, entre outros. Para a reciclagem é necessário que diversas etapas sejam seguidas. Primeiramente é necessária a separação para evitar a presença de impurezas e prejudicar o processo de reciclagem, no Brasil a maior parte da separação é manual. A NBR 13230/08 estabelece uma identificação para as embalagens poliméricas, mostrada na Figura 13 (PAOLI, SPINACÉ, 2005).

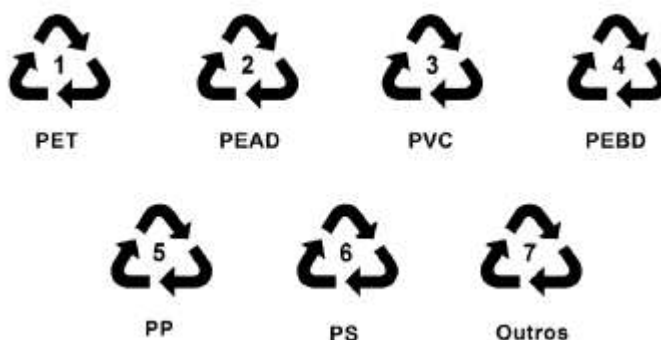


Figura 13 – Identificação dos tipos de polímeros nas embalagens.
Fonte: PAOLI, SPINACÉ, (2005).

Depois de separados os resíduos devem ser moídos em moinhos de facas rotativas, sendo acomodados em pellets, e assim são melhores organizados para os equipamentos de extrusão ou injeção (BRANDJUP et al., 1996). Depois os resíduos são lavados e secos, e então são adicionados aditivos conforme a aplicação final. Só após estas etapas é que o polímero vai ser reprocessado, resultando em um novo objeto. O processo de extrusão é muito utilizado, sendo também associada à injeção ou a termoformagem (PAOLI, SPINACÉ, 2005).

O PET reciclado possui diversas opções de utilizações, variando da indústria têxtil em roupas edredons e travesseiros, embalagens, materiais escolares, tintas e vernizes, cordas, bancos de ônibus trens e metrô, o PET reciclado também pode ser usado na construção civil por meio de caixas d'água, tubos e conexões, torneiras, piscinas, telhas e até mármore sintético (ABIPET, 2010).

As telhas de PET são produzidas a partir da extrusão e injeção do material polimérico com Carbonato de Cálcio, sendo incluídos também aditivos de proteção anti-UV. As telhas feitas de resíduos de PET apresentam diversas vantagens, entre elas: não apresentam porosidades evitando assim o acúmulo de umidade e mofo, e por isso não há necessidade de limpeza constante dos telhados, maior durabilidade, formas diferenciadas, e o diferencial ambiental. Uma grande desvantagem da telha é que o seu preço é bem mais elevado que a telha convencional de barro, mas associado ao fato de que ela é muito mais leve e exige uma estrutura de telhado menos robusta, a cobertura completa acaba sendo mais econômica (ALMEIDA et. al., 2013).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para chegar ao modelo final da telha, suas características e conclusões foram seguidos diversos passos apresentados em forma de fluxograma, ilustrados na Figura 14.

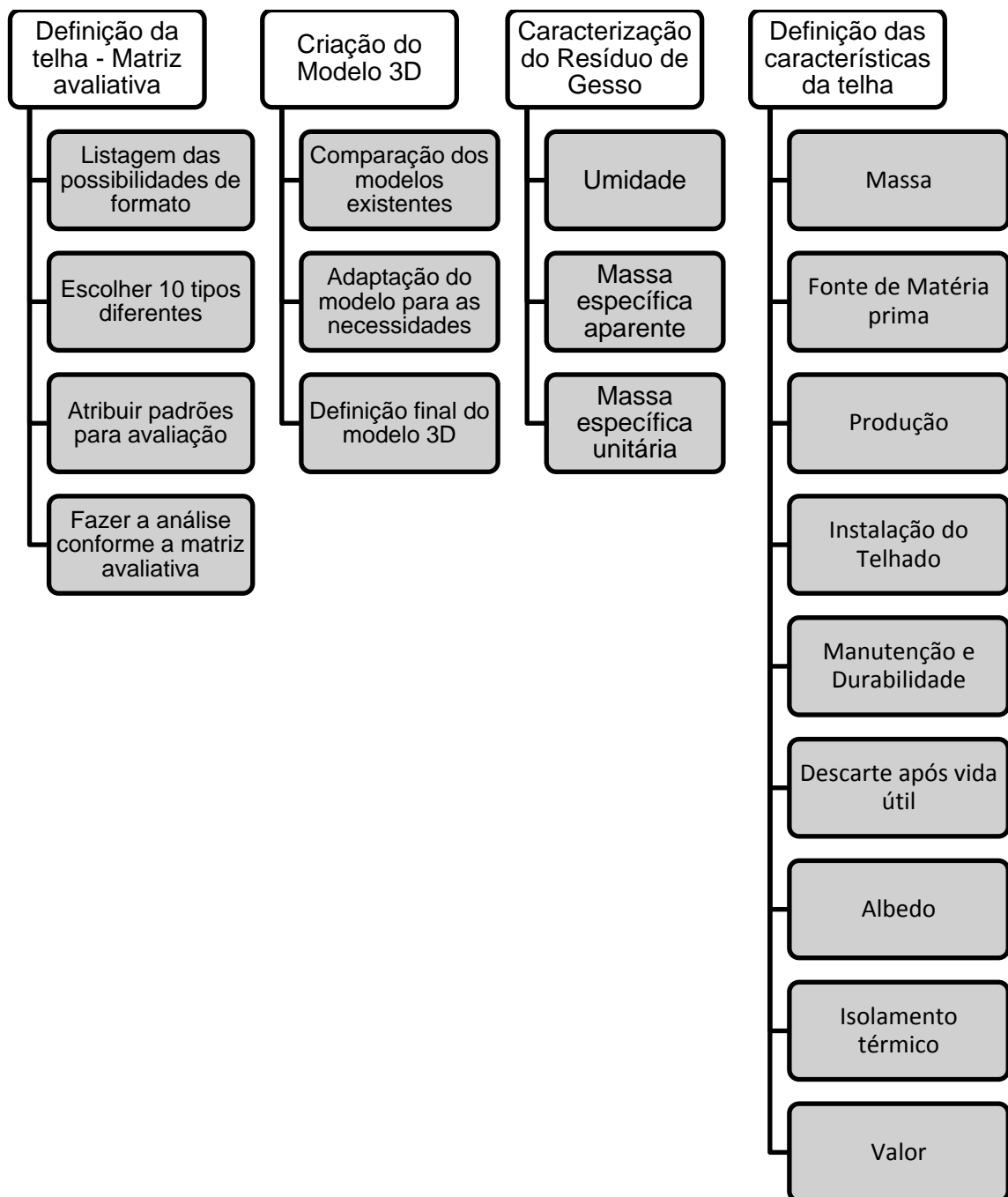


Figura 14 - Fluxograma dos procedimentos realizados para o desenvolvimento do trabalho
 Fonte: Autoria Própria

3.1 DEFINIÇÃO DA TELHA

Para a definição do melhor formato e impermeabilização da telha de gesso, como também a maneira em que o resíduo de gesso seria incorporado da telha, foi necessário primeiramente avaliar e listar os modelos de telhas existentes no mercado, cuja lista está no Apêndice A. Em seguida, diante das muitas possibilidades diferentes de telhas, foram escolhidos dez modelos diferentes para serem inseridos em uma matriz avaliativa, que estabeleceu padrões importantes para a telha.

Para ser feita a avaliação, foi necessário atribuir valores para cada um dos 10 diferentes conjuntos de: formato, maneira na qual o gesso será reutilizado e cobertura. Foram estabelecido valores de 1 a 5, sendo 1 o pior caso e 5 o melhor caso para os fatores: ecológico, durabilidade, peso, método construtivo, rendimento, mercado, manutenção e descarte. As categorias avaliadas com suas descrições são:

- Ecológico: maior volume de resíduo de gesso em massa relativo ao volume da telha;
- Ecológico: menor gasto energético para a produção;
- Durabilidade: maior vida útil ao longo do tempo;
- Peso: modelo mais leve;
- Método construtivo: método construtivo mais simples e de menor custo;
- Rendimento: menor quantidade por metro quadrado;
- Mercado: melhor possibilidade de aceitação do modelo;
- Manutenção: menor necessidade de manutenção;
- Descarte: maior probabilidade de descarte consciente após sua vida útil.

Existem também os fatores referentes às incertezas de mercado que avaliam como um produto responderá comercialmente. Estes correspondem aos valores de 0,1 a 0,9, menor e maior valor respectivamente, que estabelece as probabilidades de sucesso técnico, comercial e econômico, respectivamente:

- A probabilidade que o sucesso técnico seja atingido conforme proposto;
- A probabilidade de sucesso comercial se o projeto for tecnicamente bem sucedido;
- A probabilidade de sucesso econômico se for comercialmente bem sucedido.

Após a avaliação de cada um dos componentes, cada valor é multiplicado entre si, sendo que o valor multiplicado produzirá uma diferença mais significativa entre os modelos analisados do que se os valores fossem simplesmente somados. Então o valor único de cada telha gerado pode ser comparado entre si, e enfim ser escolhido qual é o conjunto que seja o mais favorável para a telha de resíduo de gesso.

Após esta definição, que inclui o modelo da telha, foi necessário estabelecer suas dimensões. Para isso adaptou-se os padrões de medidas da empresa Maristela e da NBR 15130/09. Então foi desenhado o modelo 3D no programa Autocad da Autodesk, e dessa forma pode-se ter uma definição do tamanho real, como também os volumes dos materiais. Foi também desenhado um metro quadrado de telhado para verificar com exatidão quantas peças de telhas são necessárias por metro quadrado, pois esta medida é muito usada para o dimensionamento de telhados.

3.2 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE, MASSA ESPECÍFICA APARENTE E DA MASSA ESPECÍFICA UNITÁRIA DO RESÍDUO DE GESSO

O resíduo de gesso utilizado nos ensaios foi obtido em uma obra em Curitiba entre os dias 19/07/2013 e 26/07/2013, sendo transportado para a UTFPR em sacos de ráfia. O resíduo era composto por pedaços de placas de gesso acartonado, gesso desempenado, pedaços de sancas e placas de forro de gesso. Para a execução do procedeu-se uma separação manual de materiais indevidos, isto é, resíduos não

constituídos por gesso em função de uma não segregação cuidadosa no canteiro de obras.

As normas utilizadas para a realização dos ensaios foram a ABNT NBR NM 45/2006, e a ABNT NBR NM 52/2009. Para a realização dos ensaios foram necessários os seguintes materiais:

- Balança digital marca Digimed, modelo KN15c com resolução de 0,1g;
- Estufa de secagem com temperatura no intervalo de $(105 \pm 5)^{\circ}\text{C}$;
- Recipiente metálico;
- Recipiente plástico;
- Moinho de ensaio à abrasão “Los Angeles” com capacidade para 15 kg com 12 bolas;
- Peneira da série ABNT número 8 com abertura de 2,38 mm;
- Recipiente cilíndrico metálico;
- Frasco aferido.

Primeiramente o material coletado foi disposto em um recipiente metálico e pesado na balança para ser registrado o valor da sua massa úmida, sendo que o recipiente também foi pesado. O resíduo então foi colocado na estufa na temperatura de $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante uma semana por motivo de disponibilidade para se realizar os ensaios. Após este período, o material foi retirado da estufa e foi pesado mais uma vez para a determinação da umidade do gesso coletado, por meio da Equação 1:

$$U (\%) = \frac{(m_1 - m_2)}{m_1} \times 100 \quad (\text{Eq.1})$$

Em que:

- U é a umidade do resíduo analisado;
- m_1 é a massa úmida;
- m_2 é a massa seca.

O resíduo de gesso então foi moído no moinho de abrasão “Los Angeles” durante 250 voltas, resultando em uma granulometria mais fina, desejada para a

inserção na telha e para a execução do ensaio. A Figura 15 mostra o moinho de bolas utilizado.



Figura 15 – Moinho de bolas utilizado
Fonte: Autoria Própria.

Para que resíduo de gesso incorporado não fosse de grandes diâmetros, se estabeleceu um padrão máximo para este diâmetro. O diâmetro máximo escolhido, compatível com a produção da telha, foi o passante pela peneira de 2,38 mm. Então o resíduo foi peneirado e o material passante foi utilizado para a determinação da massa específica aparente e unitária.

Para a massa específica aparente, foi primeiramente pesado o recipiente cilíndrico, e então foi lançado na altura do bocal o resíduo moído até que fosse completamente cheio, e então foi arrasado e pesado. Este procedimento de medição do gesso foi realizado três vezes, sendo então definida a média dos três valores. O recipiente então foi limpo e preenchido com água para determinação do volume do mesmo, considerando que a densidade da água é de 1g/cm^3 . A Figura 16 mostra o recipiente preenchido com gesso e água respectivamente.



Figura 16 – Definição da massa específica aparente.
Fonte: Autoria Própria.

E desta forma é possível afirmar que a massa específica aparente (ρ) deste resíduo é dada pela Equação 2:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que:

- ρ é a massa específica aparente;
- m é a massa seca;
- v é o volume do recipiente.

Em seguida foi determinada a massa específica unitária sendo utilizado um frasco aferido conforme a Figura 17.



Figura 17 – Definição da massa específica unitária com o frasco aferido.
Fonte: Autoria Própria.

Primeiramente são medidas as massas do frasco aferido vazio e cheio de água. Em seguida é inserida uma quantidade pequena de gesso, é medida a massa, então é adicionado água ao recipiente, sendo retiradas as bolhas de ar internas, tendo sua massa novamente medida. Desta forma é possível definir a massa específica unitária do resíduo de gesso conforme a Equação 3.

$$d = \frac{m}{(V - V_a) - \frac{m_s - m}{\rho_a}} \quad (\text{Eq. 3})$$

Sendo que:

- d é a massa específica do agregado, em g/cm^3 ;
- m é a massa da amostra seca em estufa, em gramas;
- V é o volume do frasco, em cm^3 ;
- V_a é o volume de água adicionado ao frasco, em cm^3 ;
- m_s é a massa da amostra na condição saturada superfície seca, em gramas;
- ρ_a é a massa específica da água, em g/cm^3 .

3.3 CARACTERÍSTICAS DA TELHA

Uma das importantes características da telha é o valor da sua massa. Com o modelo 3D da telha é possível extrair os volumes tanto do gesso quanto da cobertura de PET reciclado de forma sólida, e a partir da determinação da massa específica aparente do resíduo de pó de gesso e da massa específica aparente do PET reciclado, é possível estimar a massa da telha, conforme a Equação 2.

Para a caracterização da produção da telha, foi estimada a procedência da matéria prima e o método construtivo a ser adotado, tomando por base dados de processos que são equivalentes principalmente quanto à reciclagem do PET. Para o gesso, foram adotados processos que tirassem a umidade do gesso, como também permitisse que ele fosse de dimensão compatível a ser inserido na telha.

Para a instalação do telhado foram levadas em consideração as recomendações de inclinação da empresa Maristela, produtora também da telha Colonial Gigante, como também de outras empresas especializadas. Para a montagem é necessário o valor da galga média, que deve ser também especificado pelo fabricante. A galga média se refere às medidas das distâncias mínima e máxima de montagem das telhas, e depois de feita a média esse valor pode ser utilizado como padrão de distanciamento das telhas por meio das distâncias das ripas. Para a definição teórica da galga média do modelo, considerou-se as distâncias máximas e mínimas de encaixe posterior com o superior da peça. Assim que definidas estas distâncias por meio do modelo 3D, foi feita a média e a galga média foi estabelecida. Este valor é imprescindível para definir a distância do ripamento na montagem da estrutura do telhado.

A manutenção, durabilidade e descarte da telha foram estimadas por meio das propriedades e características dos materiais componentes, gesso e PET reciclado, e como são influenciados pelas intempéries separadamente, principalmente no caso da parte externa de PET relativo à manutenção e durabilidade, pois é a parte mais sujeita por estar diretamente exposta. Quanto ao descarte, este foi definido de cada componente separadamente, conforme as recomendações de cada material da atualidade.

Também foram considerados o albedo e o isolamento térmico da telha, que foram caracterizados conforme as propriedades dos materiais constituintes, sendo consideradas suas propriedades separadamente.

Como parte importante na viabilidade do produto, o custo da telha foi estimado considerando o custo da produção do PET e do gesso separadamente e então somados. Primeiramente foi estabelecido o custo da parte de PET tomando em conta o preço e a massa de uma telha de PET translúcida colonial semelhante ao modelo, sendo feita uma proporção de preço com relação à massa da telha. Considerando que dentro do custo da telha já se incluem questões comerciais como divulgação e transporte, foi definido que este seria o valor final apenas somado com os custos para o processamento do gesso. Então foi feito um estudo comparativo do modelo estudado, com a telha plástica existente no mercado e também com a telha colonial gigante cerâmica, através dos custos e pesos por metro quadrado. Por fim foram listadas as diversas vantagens e desvantagens da telha.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir são apresentados os resultados referentes ao modelo da telha, sua definição, características e por fim suas vantagens e desvantagens.

4.1 DEFINIÇÃO DA TELHA

Inicialmente foi feita uma pesquisa com diversos produtores de telhas de diversos materiais para verificação de quais são os modelos disponíveis no mercado. Foram verificadas dez possibilidades de telhas com formas em que seria possível fazer o aproveitamento de gesso, as quais foram: Colonial, Paulista, Colonial Gigante, Plan, Francesa, Romana, Portuguesa, Alemã (ou de sobreposição), Coppo Veneto, Plana, Ondulada, Trapezoidal e em chapa.

Foi considerado também que o resíduo de gesso a ser utilizado, poderia ser incorporado de três formas: recalcinado e moldado conforme o modelo escolhido, prensado ou o resíduo em pó. E para impedir que a água entre em contato com o gesso, foram encontradas três formas para garantir a cobertura e impermeabilização do gesso, por meio de: vidro, polímeros, entre eles escolhido o PET reciclado, ou impermeabilizantes brancos.

Um quadro foi montado para juntar quais possibilidades estão de acordo entre si, sendo ao todo 64 possibilidades de telhas diferentes. O quadro com todas as possibilidades se encontra no Apêndice A. Diante da variedade encontrada foi necessário selecionar inicialmente 10 para o próximo passo do estudo. As 10 opções iniciais foram escolhidas de forma sensorial, sendo que o objetivo da escolha foi incluir opções que fossem diferentes e que se apresentassem como uma opção mais viável, ao ser analisado teoricamente. As 10 possibilidades se encontram no Quadro 3 a seguir.

	FORMATO	PREENCHIMENTO	COBERTURA
1	Colonial Gigante	Gesso em pó	PET
2	Colonial Gigante	Gesso em pó	Vidro
3	Chapa lisa	Gesso em pó	PET
4	Plana	Gesso em pó	PET
5	Alemã	Prensada	Impermeabilizante
6	Portuguesa	Prensada	PET
7	Ondulada	Prensada	Impermeabilizante
8	Plana	Prensada	PET
9	Coppo Venneto	Calcinada	PET
10	Paulista	Calcinada	PET

Quadro 3 – Dez possibilidades escolhidas para a próxima análise.
Fonte: Autoria Própria.

A matriz avaliativa possibilitou escolher e ter mais clareza sobre a melhor modelo, tipo de preenchimento e cobertura para o modelo de telha. A Tabela 7 apresenta os valores dados para cada categoria em relação ao modelo 1 a 10 indicados acima, e o resultado final da soma de todos os pontos.

Tabela 7 – Matriz avaliativa das características da telha.

	FATOR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Ecológico	4	2	5	3	5	5	5	5	4	4
2		3	3	3	3	3	3	3	3	2	2
3	Durabilidade	4	4	4	4	2	4	2	4	4	4
4	Peso	3	1	3	4	5	4	4	4	4	4
5	Método construtivo	4	3	5	4	3	3	4	4	4	4
6	Rendimento	5	5	5	3	2	3	5	3	3	3
7	Mercado	3	3	2	3	2	3	2	3	3	4
8	Manutenção	4	4	4	4	2	4	2	4	4	4
9	Descarte	4	4	4	4	3	4	3	4	4	4
	SUBTOTAL	138.240	17.280	144.000	82.944	10.800	103.680	28.800	138.240	73.728	98.304
	INCERTEZA										
10	Sucesso técnico	0,8	0,6	0,6	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
11	Sucesso comercial	0,7	0,5	0,4	0,7	0,5	0,6	0,5	0,6	0,5	0,6
12	Sucesso econômico	0,7	0,5	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6
	SUBTOTAL	0,392	0,15	0,144	0,392	0,245	0,294	0,245	0,294	0,21	0,252
	TOTAL	54.190	2.592	20.736	32.514	2.646	30.482	7.056	40.643	15.483	24.773

Fonte: Autoria Própria

O modelo de telha em que a multiplicação dos valores na avaliação resultou em mais pontos foi a adotada para a continuidade do trabalho foi o tipo 1, que possui o formato Colonial Gigante, terá uma cobertura de PET reciclado e será incorporado dentro da capa de PET o gesso de forma em pó. Para a determinação exata do formato da telha e o desenho do modelo 3D tomou-se como base a telha colonial gigante da empresa Maristela que produz telhas deste formato cerâmicas, e da NBR 15130/09 que estabelece padrões e ensaios para peças cerâmicas, incluindo a telha colonial. Para referenciar o modelo escolhido, foi adotado o nome de Telha GePET para o modelo, significando a união do gesso e do PET para a produção da telha.

A Figura 18 apresenta o modelo 3D completo desenvolvido no AutoCAD. A parte branca que está mais em evidência representa o pó de gesso inserido, e a camada cinza externa representa o revestimento de PET.

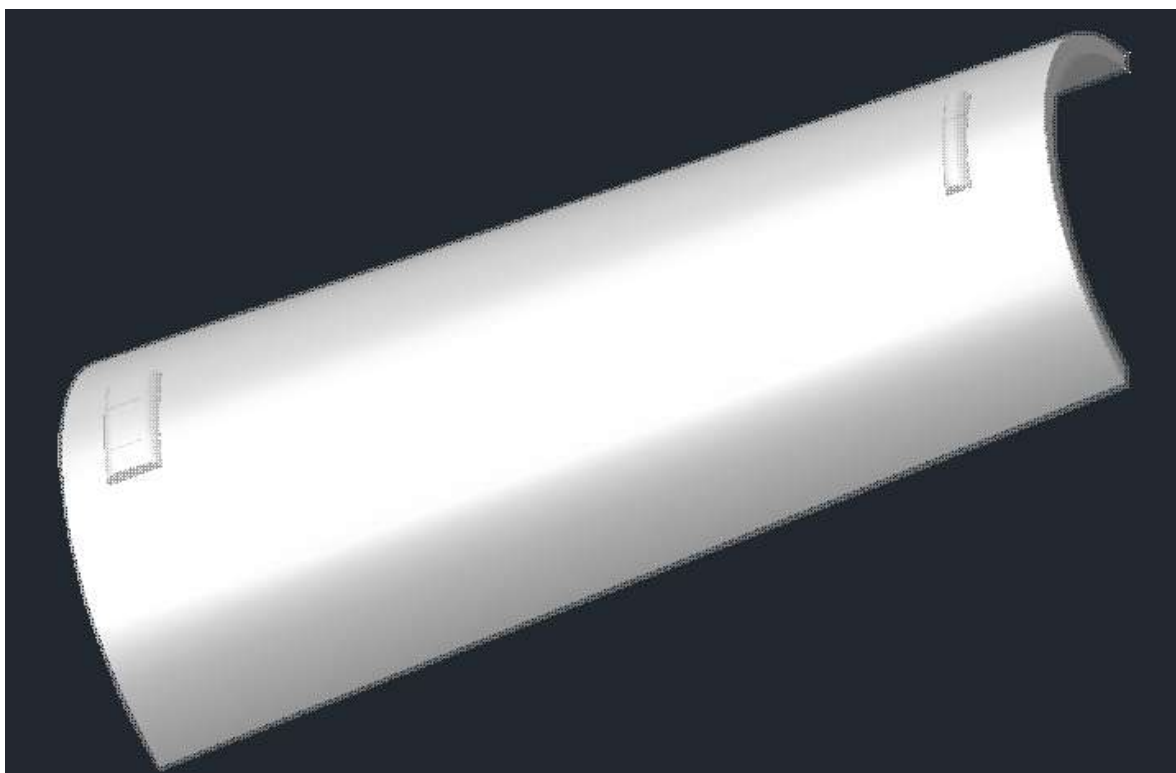


Figura 18 – Modelo 3D da telha GePET.
Fonte: Autoria Própria.

A Figura 19 mostra as dimensões da vista superior da telha GePET, sendo cotadas suas dimensões totais, como também as dimensões dos apoios da peça. Todas as dimensões estão em milímetros.

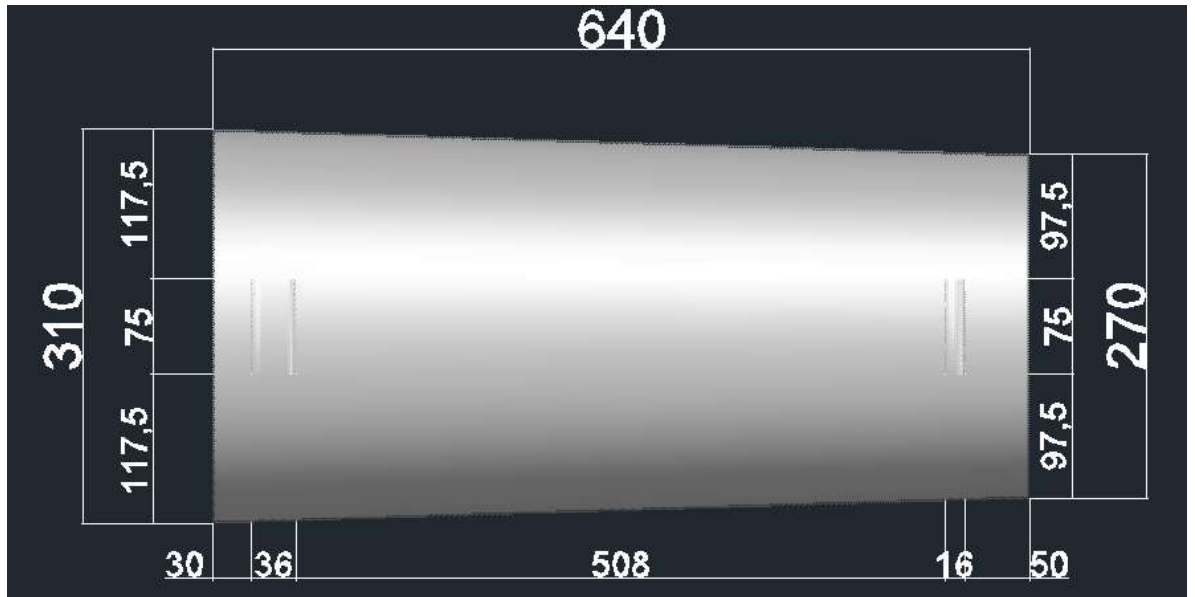


Figura 19 – Dimensões da Telha GePET.
 Fonte: Autoria Própria.

A Figura 20 mostra em detalhe a espessura da camada de PET que será de 2 mm, e a espessura total da lateral da telha que será de 15 mm.

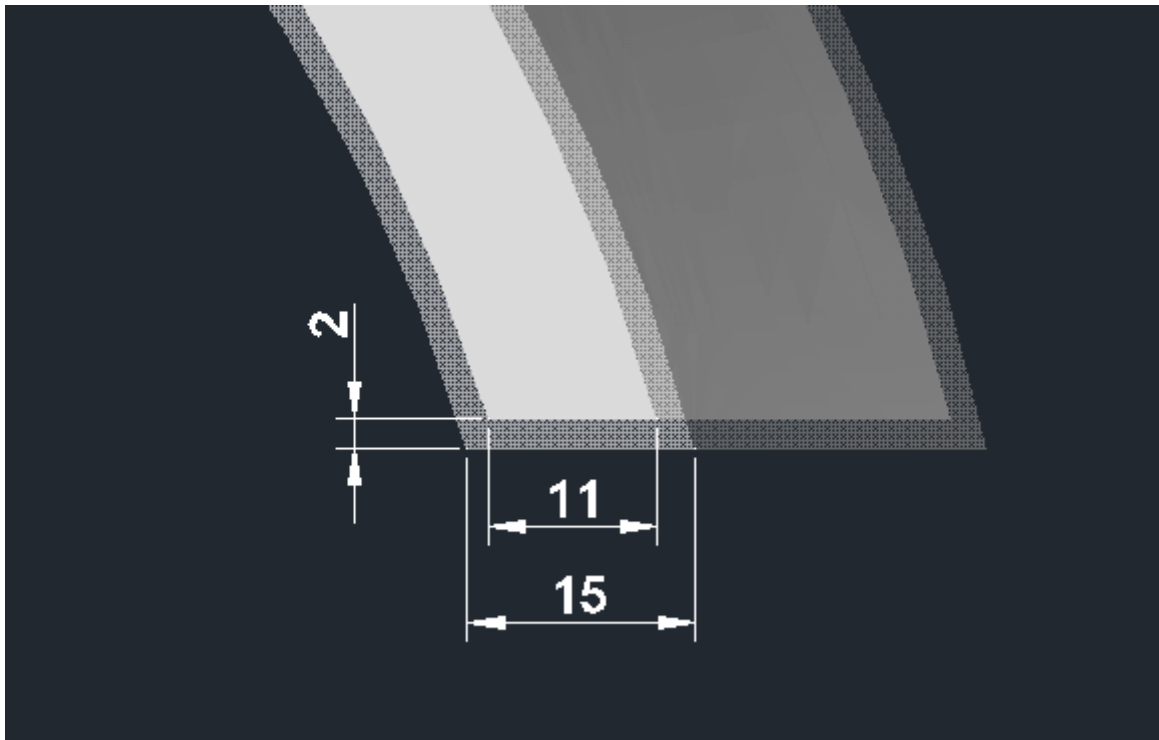


Figura 20 – Detalhe das dimensões de espessura da telha GePET.
 Fonte: Autoria Própria.

A Figura 21 a seguir mostra as dimensões da parte posterior da telha, mostrando a localização do sulco de encaixe. A Figura 22 mostra o encaixe em maior detalhe.

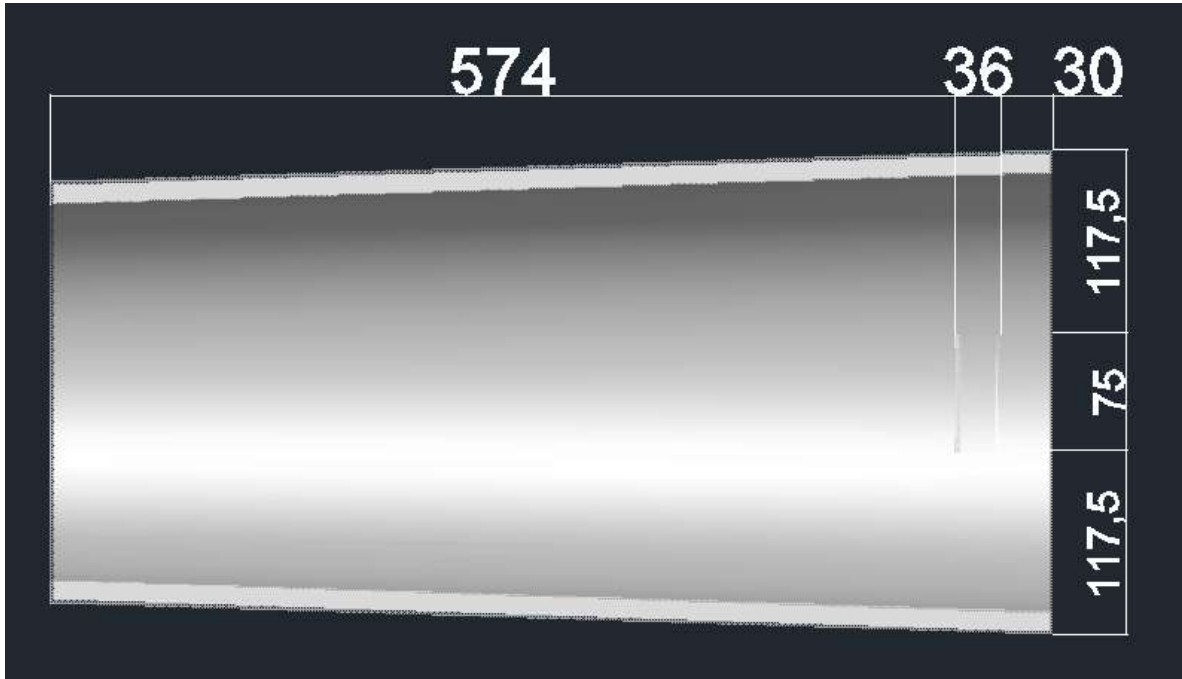


Figura 21 – Dimensões da parte posterior da telha GePET.
Fonte: Autoria Própria.

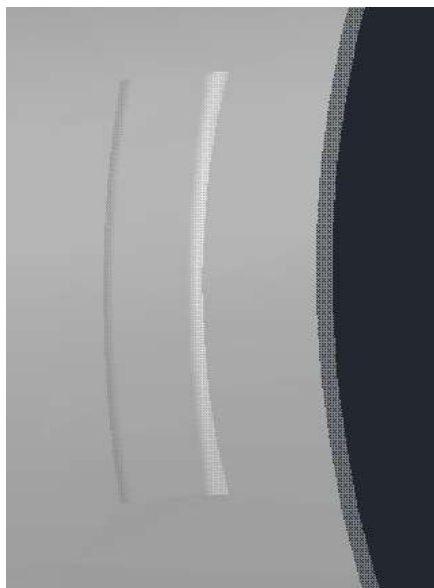


Figura 22 – Detalhe do encaixe da telha GePET.
Fonte: Autoria Própria.

Nas Figuras 23 e 24 são mostradas as dimensões e curvaturas das laterais da telha, sendo que a Figura 23 mostra a lateral de menor raio e comprimento e a Figura 24 mostra a lateral de maior raio e comprimento.

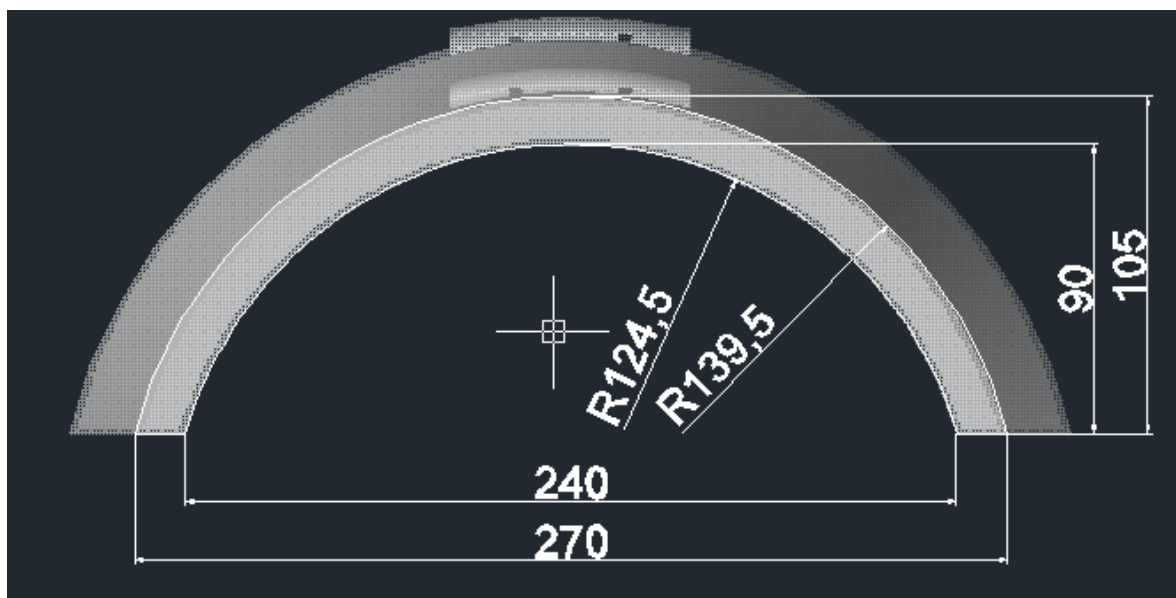


Figura 23 – Dimensões da lateral de menor raio da telha GePET.
Fonte: Autoria Própria.

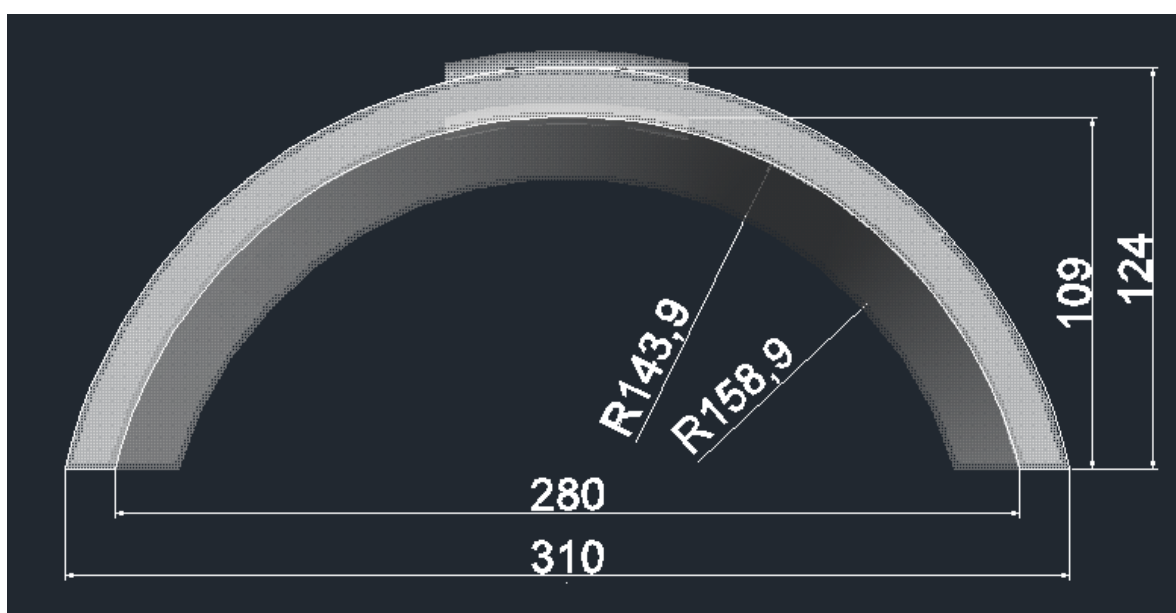


Figura 24 – Dimensões da lateral de maior raio da telha GePET.
Fonte: Autoria Própria.

Para encaixe e amarração da telha no ripamento, foram dimensionados apoios e pequenos furos nestes apoios para ser possível a amarração, uma vez que não será possível fazer furos no modelo por possibilitar que o recheio saia, ou entre algum tipo de umidade. As Figura 25 mostra em detalhe a vista frontal dos apoios, sendo equivalente para os dois tipos.

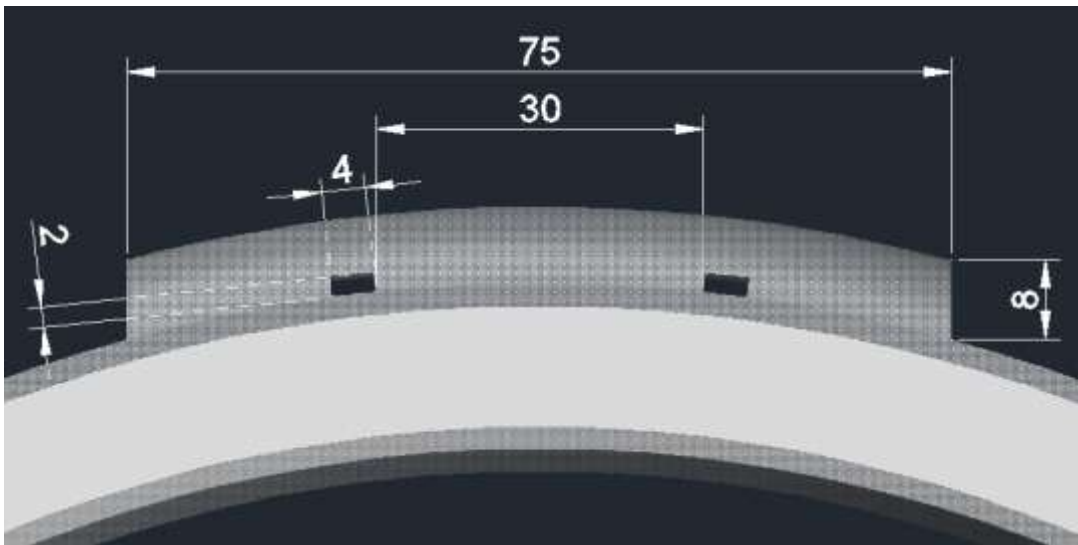


Figura 25 – Detalhe das dimensões do apoio da telha GePET.
Fonte: Autoria Própria.

As Figuras 26 e 27 mostram o corte dos dois tipos de apoio e suas dimensões, sendo que a Figura 26 mostra também a posição do encaixe da peça.

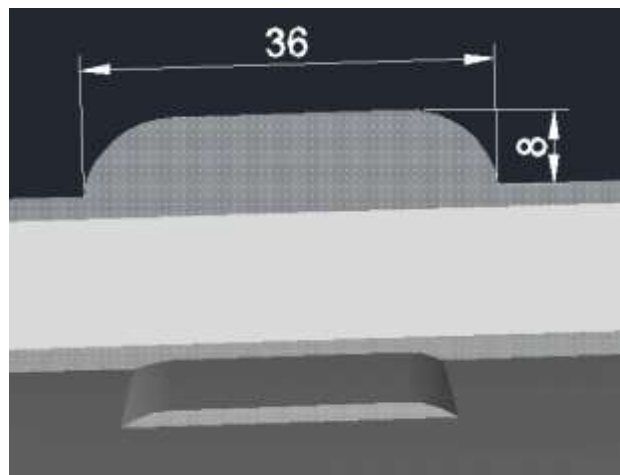


Figura 26 – Detalhe do corte do apoio de maior dimensão da telha GePET.
Fonte: Autoria Própria.

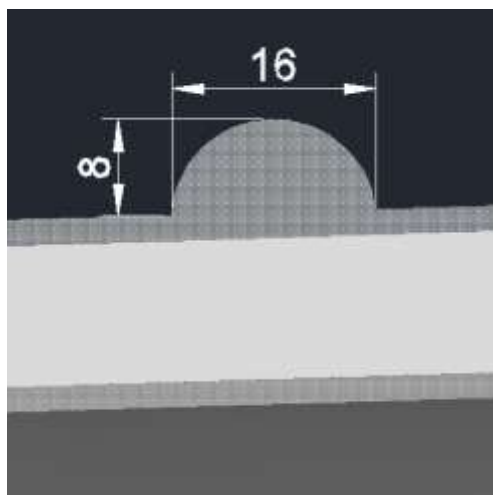


Figura 27 – Detalhe do corte do apoio de menor dimensão da telha GePET.
Fonte: Autoria Própria.

4.2 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE, MASSA ESPECÍFICA APARENTE E DA MASSA ESPECÍFICA UNITÁRIA DO RESÍDUO DE GESSO

Conforme definido em laboratório, e aplicando a equação 01, a umidade encontrada no resíduo de gesso coletado foi de 14,5%. Os valores das massas encontradas se encontram na Tabela 8.

Tabela 8 – Massa do resíduo de gesso antes e após a estufa.

Massa recipiente (g)	Massa gesso úmido (g)	Massa gesso seco (g)
528,2	3152,0	2771,8

Fonte: Autoria Própria.

Na determinação da massa específica aparente, foram encontrados os seguintes valores conforme a Tabela 9.

Tabela 9 – Determinação da massa específica aparente do resíduo de gesso.

Recipiente (g)	Recipiente + gesso (g)	Gesso (g)	Recipiente + água (g)	Água (g)
711,8	1036,2	324,4	1110,7	398,9
	1029,5	317,7		
	1029,2	317,4		
Média	1031,63	319,83		

Fonte: Autoria Própria.

Como a densidade da água é 1g/cm^3 , pode-se definir de forma exata que o volume do recipiente é igual a sua massa $398,9\text{cm}^3$. Inserido os valores médios, juntamente com o volume, na Equação 2 pode-se definir a massa específica aparente do resíduo de gesso por $0,802\text{ g/cm}^3$.

Já na determinação da massa unitária, a massa do frasco tem $72,2\text{ g}$, e o frasco cheio de água tem $319,1\text{g}$. As massas obtidas com o gesso somado com o valor da massa unitária calculada conforme a Equação 3 se encontram na Tabela 10.

Tabela 10 – Determinação da massa específica unitária do resíduo de gesso.

Frasco + gesso (g)	Frasco + gesso + água (g)	Massa unitária (g/cm^3)
124,1	349,0	2,36
109,9	341,6	2,48
108,4	340,9	2,51

Fonte: Autoria Própria.

O valor médio encontrado para a massa específica unitária foi de $2,45\text{ g/cm}^3$.

4.3 CARACTERÍSTICAS DA TELHA

A seguir são descritas algumas das principais características do modelo da telha desenvolvido.

4.3.1 Massa

A partir do modelo 3D desenvolvido, é possível retirar os valores de volume dos materiais da telha, e com os valores da massa específica aparente encontrados é possível determinar a quantidade em massa das matérias primas componentes da telha conforme a Equação 02.

O volume a ser inserido de gesso é de 2.590,36 cm³, multiplicado pelo valor encontrado de massa específica aparente determinada, de 0,802 g/cm³, serão necessários 2.077,47 gramas de resíduo de gesso moído para ser inserido em cada telha.

No caso do PET, o volume encontrado é de 1.024,11 cm³, que multiplicado por sua densidade de 1,38 g/cm³ (RÖCHLING, 2012) resulta em 1.413,27 gramas de PET na telha. Somando-se os dois valores, encontrou-se a massa total da telha que é de 3.490,74 gramas, aproximadamente 3,5 kg por telha.

4.3.2 Fonte da Matéria Prima

A principal fonte de resíduos de gesso é a construção civil, porém como não existe ainda a conscientização para a separação e destinação adequada do resíduo, não se sabe ao certo a sua quantidade disponível para reutilização de uma grande cidade, como por exemplo, Curitiba. Porém tendo como base a empresa OK Ambiental (2013) que transforma 100% do resíduo de gesso em fertilizante, ela recebe cerca de 100 toneladas por mês. Com esta quantidade seria possível produzir aproximadamente 47.600 telhas ecológicas e cobriria 4.700 m² de telhado.

Ao contrário do gesso, o resíduo de PET é coletado e reciclado em grande escala, então é possível comprar de companhias de coleta de resíduo. É necessário que para a produção de telhas transparentes, que apenas o resíduo transparente seja utilizado, e ele deve ser também lavado e picotado para então ser transformado.

4.3.3 Produção

No que concerne à produção, primeiramente é feita a parte plástica que envolve a telha. Os resíduos de PET moído são misturados com grânulos de PET virgem em uma proporção de 50% em massa de cada. Esta mistura com o elemento virgem é necessária para manter a transparência que é desejável para a telha, resultando também um produto final com propriedades intermediárias dos dois materiais (MANCINI; BEZERRA; ZANIN, 1998). Caso o processo de fabricação produza muitas sobras, é possível que a mistura seja de 33,3% iguais em massa de resíduo de PET, PET virgem e sucata da produção.

Após os grânulos serem misturados eles passam por um processo de secagem que pode durar até 10 horas. Segundo Mancini, Bezerra e Zanin (1998), a homogeneização dos materiais fica dificultada, pois o grânulo do material virgem e a garrafa moída apresentam densidades diferentes (1,378 g/cm³ e 1,345 g/cm³, respectivamente). Por isso é necessário que o material seja extrudado e picotado novamente para obter grânulos com densidade maior que o moído. Para evitar a degradação pela radiação solar, são adicionados juntamente com o resíduo aditivos que protegem contra a ação dos raios UV (ALMEIDA et. al, 2013).

É feita então a injeção do plástico no molde próprio para a telha colonial gigante, tendo espessura de paredes de 2mm, e um vazio interno de 11mm para a inserção do resíduo de gesso, conforme as figuras apresentadas do modelo. Na extremidade maior da telha é deixado um buraco e uma rebarda para no final do processo a telha ser selada.

O resíduo de gesso deve ser preparado antes de ser inserido na telha. Primeiramente ele deve ser separado, e os materiais impróprios devem ser retirados. O gesso também deverá ser seco e então moído para que seus grãos sejam passantes na peneira de 2,38 mm de abertura. O material seco facilita tanto sua moagem e peneiramento como também auxilia para que não fique nenhuma umidade dentro da telha. O pó do resíduo é então despejado no interior da telha plástica, não necessitando fazer nenhuma compactação.

Após a inserção do pó do gesso, a telha é selada termicamente por processo de fusão, evitando que haja infiltração por emendas. A rebarba que sobra da selagem é removida, e poderá ser reincorporada no processo.

4.3.4 Instalação do Telhado

Uma informação importante para a instalação e comercialização da telha é saber a quantidade de telhas necessárias para a ocupação de um metro quadrado em área do telhado. Esta característica foi determinada junto com o modelo 3D da telha GePET ao desenhar um metro quadrado, resultando em uma quantidade aproximada para ocupar esta metragem. A Figura 28 mostra as telhas alinhadas para compor a área de 1 m².

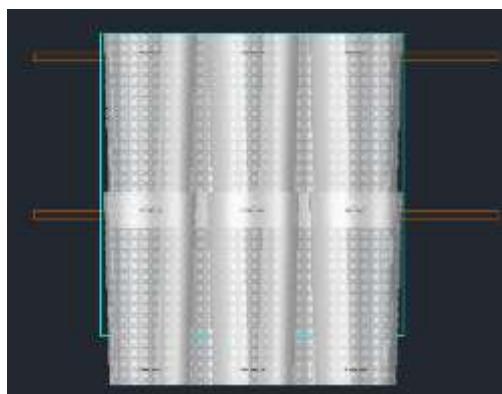


Figura 28 - Quantidade de telhas por metro quadrado
Fonte: Autoria Própria

Pode-se considerar a quantidade necessária para execução de um metro quadrado de telhado de aproximadamente 10 telhas coloniais gigantes.

Outro importante fator concernente à instalação de telhados é a inclinação mínima que o telhado deve apresentar. Esse fator é determinado dependendo do modelo da telha, e varia de acordo com o comprimento também. Uma inclinação menor que a mínima dificulta o escoamento da água na telha, gerando muitas vezes acúmulos de água indesejáveis às telhas. A Figura 29 ilustra o padrão de inclinação

mínima, sendo utilizados os valores determinados pela empresa Maristela do modelo colonial gigante.

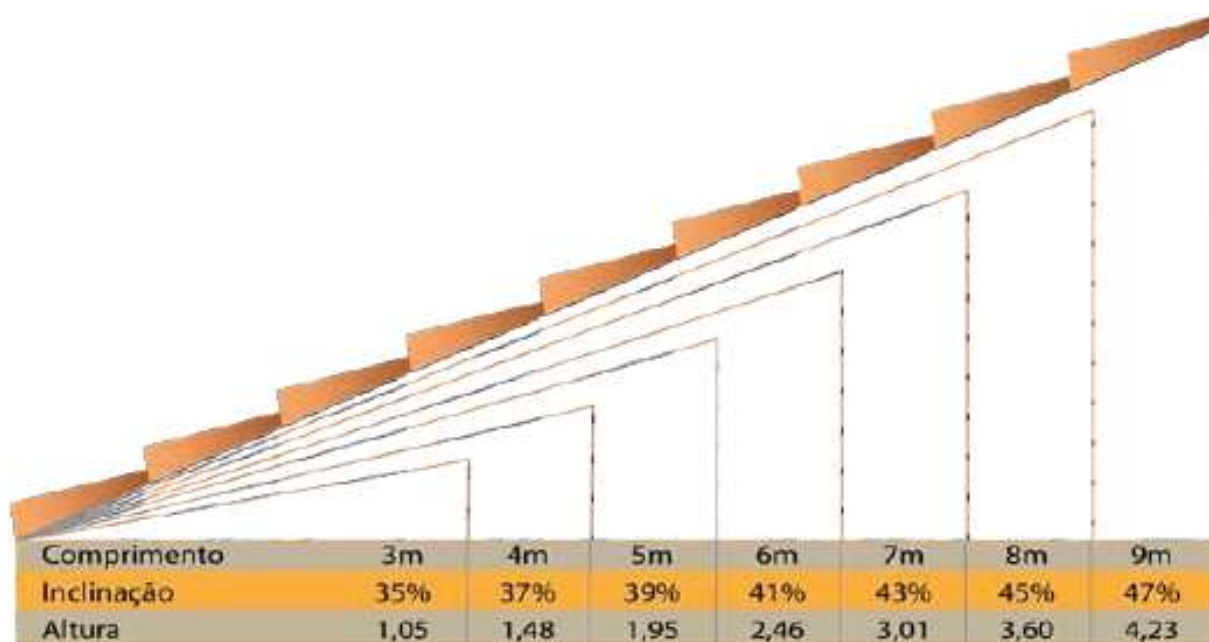


Figura 29 - Inclinação mínima do telhado

Fonte: Maristela, (2014).

Outro importante fator para a montagem do telhado é a Galga média. A NBR 15310:2009 a define como “atributo da relação entre as telhas”, e sua determinação em ensaio é normatizada no Anexo E da mesma norma. Na prática a galga pode ser considerada como a distância entre as faces superiores de dois sarrafos. Neste caso, a galga média foi definida teoricamente por meio do encaixe das peças. O afastamento mínimo conforme o encaixe é de 52,4 cm, e o afastamento máximo é de 54,4 cm, sendo a média dos dois números a galga média de valor 53,4 cm.

Para a montagem da telha após o ripamento pronto, é necessário que seja feita duas fileiras por vez de cima para baixo, sempre acompanhado de uma verificação com a régua metálica para manter o alinhamento. As telhas canais devem também estar separadas entre si por três centímetros, e o lado de maior diâmetro está voltado para cima, no caso da capa, este fica voltado para baixo. A Figura 30 ilustra o distanciamento na montagem dos canais, como também o encaixe na hora da montagem dos canais.

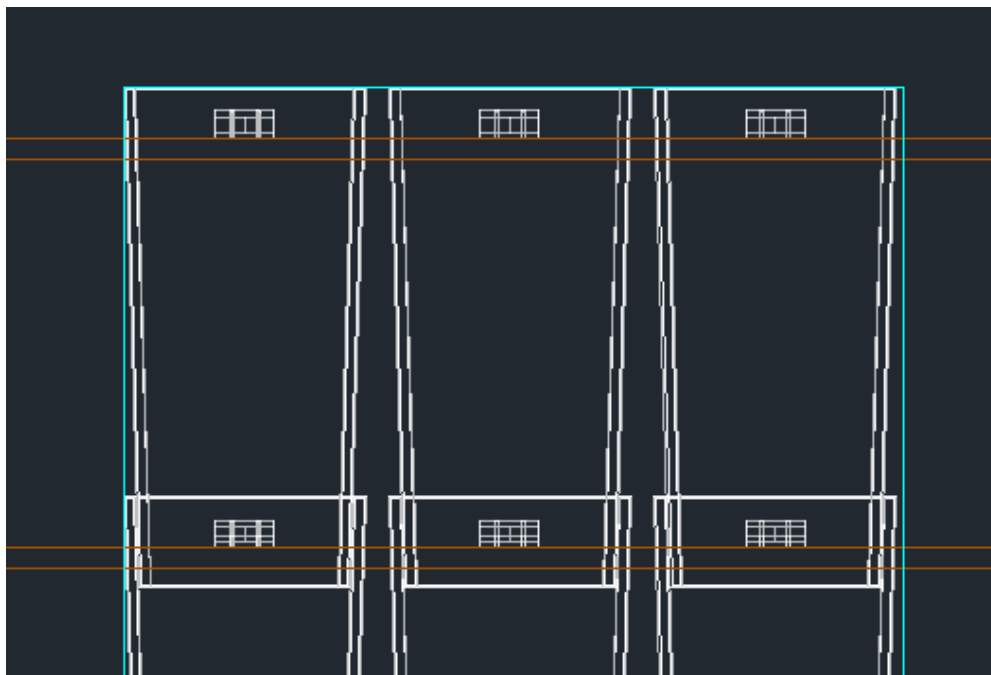


Figura 30 - Montagem dos canais

Fonte: Autoria Própria

Para a amarração das telhas, foram pré-dimensionados no modelo orifícios nas peças de encaixe da parte superior e inferior pelas quais poderão ser passados arames que serão amarrados nas ripas de madeira. Em localidades onde há maior ocorrência de ventos fortes, como zonas costeiras, existe maior necessidade de fazer a amarração. Como não será possível fazer furos na telha, para que o resíduo de gesso não saia e não haja infiltração da água, foi pensado este sistema de amarração discreto que não prejudicará a estanqueidade do telhado, gerando pontos onde poderia haver infiltração. Estes furos foram ilustrados na Figura 25.

4.3.5 Manutenção e Durabilidade

A telha GePET, por ter uma camada protetora de PET apresenta diversas vantagens em relação à manutenção e durabilidade. O PET tem uma baixa porosidade (ALMEIDA et. al., 2013) não acumulando mofo e umidade da telha, não necessitando de limpeza tão frequente como as telhas cerâmicas, podendo ser limpa simplesmente com água e sabão. Para ser feita a manutenção de telhado,

poderá haver movimentação sobre o mesmo apenas levando em consideração que deverá ser pisado sobre o ripamento, onde é a estrutura do telhado.

Apesar de o PET apresentar grande durabilidade, não se sabe ao certo quanto tempo durará a telha exposta ao sol, sendo considerada apenas uma estimativa a partir de telhas de resíduo de PET existentes no mercado. A empresa Telhas Leve, produtora de telhas com resíduo de PET afirma que a expectativa de vida da sua telha é de 40 anos, sendo que o PET virgem em meio às intempéries leva aproximadamente 300 anos para se degradar. Na telha GePET, a inserção do gesso não deve alterar a durabilidade do produto pois ele se encontra em estado inerte, não reagindo com o PET. Assim, espera-se que a telha apresente vida útil de aproximadamente 40 anos.

4.3.6 Descarte Após Sua Vida Útil

Após o fim da vida útil e a troca do telhado, as telhas poderão ser destinadas para as Áreas de Transbordo e Triagem, ou então ser encaminhada diretamente para a empresa produtora. As telhas poderão ser “abertas” para a retirada do pó de gesso de seu interior. Tendo as duas matérias primas separadas será possível destiná-las para um aterro sanitário, como também existe a possibilidade da reciclagem.

Segundo Mancini, Bezerra e Zanin (1998), o PET perde algumas propriedades importantes no quinto ciclo de reciclagem. Porém, no estudo não foi incorporado PET virgem no processo, o que poderá acarretar em mais ciclos de reciclagem por conta da mistura. Já o Gesso poderá ser reutilizado tanto na continuidade da fabricação da telha, como também poderá ainda ser transformado em fertilizante para a agricultura, ou ter outra finalidade apropriada.

4.3.7 Albedo

Conforme apresentado na revisão da literatura, as coberturas brancas trazem diversos benefícios para as edificações e para as cidades como um todo. Como a telha GePET apresenta uma cobertura plástica, acumulará menos resíduos pois apresenta menos poros, mantendo a transparência do PET e consequentemente a cor branca da telha por mais tempo, sendo que também é de fácil lavagem e qualquer sujeira que possa atrapalhar esta propriedade poderá ser removida com facilidade.

Dentre os benefícios dos telhados brancos podemos citar os mais relevantes para o nosso caso: diminuição das ilhas de calor, diminuição da emissão de CO₂, resultado imediato, reduz custo de ar condicionado em até 20%, entre outros (GRAÇAS, 2010).

4.3.8 Isolamento Térmico

Outra vantagem associada ao albedo para a diminuição do calor interno das edificações ao usar a telha GePET, é o isolamento térmico que ela proporcionará. Isto porque os dois componentes da telha, juntamente com o ar incorporado nos vazios do gesso são isolantes térmicos, por não transmitirem calor com facilidade e possuem baixo índice de condutividade térmica: 0,22 W/mK e 0,026 W/mK para o gesso e o ar, respectivamente (ÇENGEL; GHAJAR, 2011) e 0,24 W/mK para o PET (SANTOS, 2007). Com estas informações, é esperado que a telha apresente um bom isolamento térmico, trazendo um melhor conforto para as edificações.

4.3.9 Valor da Telha

O valor da telha GePET foi estimado mediante comparações com produtos similares. Uma vez que a comercialização do gesso como resíduo não é muito divulgada não é possível definir com certeza um preço final.

Primeiro considerou-se o valor para a produção da parte plástica, a estimativa foi feita através da comparação em massa com outra telha colonial de PET. A telha colonial vendida pela empresa Representações RS (2014) tem 270 gramas em massa e necessita de 26 a 28 por m^2 , seu preço é de R\$12,90 por peça. Feita uma proporção em massa, sendo que a telha GePET tem 1.413,27 gramas por telha, o preço da parte plástica seria de R\$67,52, sendo considerado já o valor da matéria prima do plástico, a produção, a distribuição do produto e todos os custos envolvidos comercialmente.

Com relação ao resíduo de gesso inserido admitiu-se que as construtoras, obrigadas a dar um destino ao resíduo de gesso, levariam o resíduo para a produtora ou para áreas de transbordo e triagem onde seria de melhor acesso à produção. Neste sentido considerou-se apenas um custo da moagem, peneiramento e enchimento das telhas. Assim estimou-se o custo de R\$2,00/kg de resíduo de gesso, como é inserido 2.077,57 gramas na telha, o custo do gesso na telha seria de R\$4,15. O preço final de venda da telha seria de aproximadamente R\$72,00.

Fazendo um comparativo com a telha de pet colonial comercializada, seu custo por metro quadrado é de R\$361,2 e sua carga por m^2 é de 7,56kg enquanto o custo por metro quadrado da telha GePET é de R\$720,00 e a carga por m^2 é 35kg. Neste caso, além de a telha GePET ser quase duas vezes mais cara, a estrutura também deverá ser mais robusta, gerando um custo total bem mais elevado.

Comparando com a telha colonial gigante cerâmica, seu preço segundo a loja Colonial Telhas e Tijolos (2014) é em média R\$36,00/ m^2 . Sendo considerado 9 peças por m^2 conforme a fabricante, o preço de cada peça é de R\$4,00. Sua carga por m^2 é de 72kg. Como a telha estudada custa R\$720,00/ m^2 e apresenta a massa de 35kg/ m^2 , verifica-se que o valor do modelo é muito maior que o convencional, sendo que a telha cerâmica representa apenas 5% do valor da telha GePET por

metro quadrado. Esta diferença é reduzida ao compararmos que a telha cerâmica pesará aproximadamente o dobro e necessitará de uma estrutura um pouco mais robusta que a telha de gesso, porém este valor não é tão significativo a ponto de poderem ser equalizados seus custos totais.

4.4 VANTAGENS E DESVANTAGENS

A telha com resíduo de gesso e PET, como qualquer outro produto, apresenta diversas vantagens e desvantagens que a seguir serão listadas para que seja feita uma comparação e análise da viabilidade do produto.

4.4.1 Vantagens

Um dos pontos importantes da telha GePET é o grande apelo ambiental que ela tem, levando em consideração que é produzida unicamente com resíduos, é também reciclável, sendo que tanto o PET como o gesso incorporado poderão ser reutilizados depois separadamente. Também pode-se considerar a atratividade do albedo que a telha possui, pois auxilia no conforto térmico dentro da edificação, tanto pelo albedo como pelo materiais isolantes que a compõem.

Outra vantagem decorrente ao uso da telha é que sua durabilidade e manutenção são facilitadas, pois o PET possui menos poros e acumulará menos detritos e umidade, sendo que desta forma sua limpeza também será facilitada. Deve ser considerada também a alta durabilidade da telha devido a grande vida útil do PET.

Com relação às características físicas da telha GePET, ela possui grandes dimensões, sendo que desta forma sua montagem é facilitada. A telha também é mais leve que a telha similar cerâmica, facilitando também a montagem, o transporte e a execução de uma estrutura do telhado mais simples do que se fosse utilizada a

telha cerâmica. A telha GePET apresentada também possui formas mais regulares que o modelo cerâmica, pois seu processo produtivo por injeção confere uma maior precisão de produção.

4.4.1 Desvantagens

Um dos grandes pontos negativos encontrados foi o preço estimado da telha, que se apresentou muito acima do mercado, incluindo as próprias telhas de PET já produzidas. Desta forma, a única maneira viável de comercialização seria a destinação do produto aos empreendimentos de alto padrão, sendo vendida como um diferencial para o mercado.

Outra dificuldade é que apesar de ser obrigatória a separação e destinação do resíduo de gesso, isto não é feito de forma correta, sendo que o gesso muitas vezes é misturada com o entulho, ou é descartado nos aterros sanitários, desta forma ainda existe dificuldade da obtenção do resíduo de gesso não misturado com outros entulhos.

Outra desvantagem é que o processo produtivo da telha de PET com gesso é mais sofisticado que a produção de outras telhas, como a cerâmica ou a de concreto, por exemplo, sendo assim será necessário um maior investimento em maquinário para a sua produção e especialização da mão de obra.

5 CONCLUSÕES

5.1 CONCLUSÕES

Com este trabalho foi possível listar as possibilidades de telhas compatíveis com a utilização de gesso, e escolher dez modelos diferentes para uma análise por meio das características favoráveis para as telhas nos requisitos: ecológico, durabilidade, peso, método construtivo, rendimento, mercado, manutenção e descarte, e das incertezas de mercado. Desta análise foi possível definir o modelo estudado, de forma Colonial Gigante, com cobertura de PET e inserção do resíduo de gesso em pó. O modelo a ser estudado foi batizado de GePET, por conta da utilização dos resíduos de gesso e PET.

Foram analisadas em laboratório algumas propriedades físicas do resíduo de gesso coletado em obra, e foi encontrada umidade de 14,5% em massa e 0,802 g/cm³ de massa específica aparente e 2,45 g/cm³ de massa específica unitária.

Foi possível desenvolver um modelo 3D no programa AutoCad da Autodesk, com todas as dimensões da telha GePET, e com o volume retirado e com os valores da massa específica aparente é possível concluir que uma telha terá uma massa de aproximadamente 3,5 kg. Foi possível determinar também que serão necessárias 10 peças para compor um metro quadrado de telhado, e que a galga média da telha é de 53,4 cm.

Dentre as características encontradas da telha GePET, podemos concluir que existem as seguintes vantagens: possui apelo ecológico por ser reciclável e suas matérias primas são resíduos; traz conforto térmico por sua cor branca e pelas propriedades dos materiais, diminuindo também o consumo de energia; maior durabilidade; manutenção facilitada; facilidade de instalação; menor massa que a telha cerâmica equivalente; formais mais regulares, entre outros. Uma desvantagem encontrada foi o custo calculado, que seria de R\$720,00 por metro quadrado, sendo que o valor da telha cerâmica de forma equivalente representa apenas 5% do valor da telha GePET por metro quadrado.

Conclui-se que a produção de telha GePET é viável e este possui diversas vantagens comerciais e ambientais, porém poderá ser inviável comercialmente por conta do seu custo elevado.

5.2 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Sugere-se para a realização em futuros trabalhos a avaliação da diminuição do preço da comercialização de telhas de resíduo de gesso, verificando se há ou não viabilidade da comercialização da telha GePET. Outra sugestão é estudar a incorporação do gesso na matriz do resíduo de PET, uma vez que telhas dessa forma já são comercializadas. Pode-se também produzir uma massa de resina acrílica com gesso sendo estar prensadas e moldadas em formas para serem realizados diversos teste como de resistência e umidade, por exemplo.

REFERÊNCIAS

- ABREU, P. G. de; ABREU, V. M. N.; CORDEBELLA, A.; LOPES, L. dos S.; CONCEIÇÃO, V. da; TOMAZELLI, I. L. Análise termográfica da temperatura superficial de telhas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, vol.15, nº11, nov. 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S141543662011001100013&script=sci_arttext> . Acesso em: 05 set. 2013.
- ACHILLAS, C.; BANIAS, G.; MOUSSIOPOULOS, N.; PAPAIOANNOU, I.; VLACHOKOSTAS, C. **A web-based Decision Support System for the optimal management of construction and demolition waste**. Waste Management, v. 31, n. 12, p. 2497-2502, 2011.
- AGOPYAN, V.. Melhor que Parece – Entrevista concedida a Simoni Capozzi. **Revista Construção**, São Paulo, n. 2686, p.6-11, ago. 1999.
- AGOPYAN, V.; SOUZA, U. E. L.de; PALIARI, J. C.; ANDRADE, A. C. de. **Alternativas para redução do desperdício de materiais nos canteiros de obra**. Coletânea Habitare, vol. 2, cap.10. Inovação, Gestão da Qualidade & Produtividade e Disseminação do Conhecimento na Construção Habitacional. Porto Alegre: ANTAC, 2003. Disponível em: <http://downloads.caixa.gov.br/_arquivos/desenvolvimento_urbano/qualidade_produtividade/Desperd%EDcio_canteiro_de_obras.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2013.
- AGUIAR, G. de. **Estudo de argamassas com agregados reciclados contaminados por gesso de construção**. 2004. 310 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
- AKBARI, H.; WRAY, C.. The effects of roof reflectance on air temperatures surrounding a rooftop condensing unit. **Energy and Buildings**, v.40, p.11-28, 2008.
- ALBEDO DO BRASIL. **Benefícios da Pintura Térmica**. Disponível em: <<http://www.isolamentotermicodetelhado.com.br/beneficios-pintura-termica.php>> Acesso em: 05 set. 2013.
- ALMEIDA, I. S. de; COSTA, I. M. D.; RIBEIRO, M. M. de O.; HEINRICH, M.; MOREIRA, Q.; ARAUJO, P. J. P.; LEITE, M. S. Reciclagem de garrafas PET para fabricação de telhas. **Cadernos de Graduação – Ciências Exatas e Tecnológicas**. Sergipe, vol. 1, nº 17, p. 83-90, out. 2013. Disponível em: <<https://periodicos.set.edu.br/index.php/cadernoexatas/article/view/897>> Acesso em: 20 jan. 2014.
- ALTERNATIVAS Tecnológicas: bloco de gesso sem função estrutural. **Construção Mercado**, São Paulo, n. 70, p.79-86, 01 maio 2007.

AMBROZEWICZ, P. H. L. **Materiais de Construção**. São Paulo: Pini, 2012.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATION AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **Thermal comfort**. In: Fundamentals, Chapter 8. Atlanta: ASHRAE, 2005.

ANTUNES, R. P. N.; JOHN, V. M. Influência da cal hidratada nas pastas de gesso endurecidas. In: ENTAC, 8, 2000, Salvador. **Anais...**, Salvador, 2000, 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO METÁLICA. **Manual Técnico: Telhas de aço**. ABCEM, 2009. Disponível em: <<http://www.abcem.org.br/upfiles/arquivos/publicacoes/manual-de-telhas.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PET. **Aplicações para o PET reciclado**. ABIPET, 2010. Disponível em: <<http://www.abipet.org.br/index.html?method=mostrarInstitucional&id=72>> Acesso em: 20 jan. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PET. **Nono Censo da Reciclagem do PET no Brasil**. ABIPET, 2013. Disponível em: <<http://www.abipet.org.br/index.html?method=mostrarDownloads&categoria.id=3>> Acesso em: 20 jan. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO; SINDICATO DA INDÚSTRIA DE MATERIAL PLÁSTICO DE ESTADO DE SÃO PAULO. **Aplicações das Principais Resinas Plásticas**. São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://file.abiplast.org.br/download/aplicacoesresinasplasticas.pdf>>. Acesso em: 16 set. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. **Informações Técnicas - Processos de Fabricação**. Disponível em: <<http://www.abceram.org.br/site/?area=4&submenu=50>>. Acesso em: 08 set. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7581: Telha Ondulada de fibrocimento**. Partes 1 a 3. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 8039: Projeto e execução de telhados com telhas cerâmicas tipo francesa: procedimentos**. Rio de Janeiro, 1983.

_____. **NBR 12127: Gesso para construção - Determinação das propriedades físicas do pó - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1991a.

_____. **NBR 12128: Gesso para construção - Determinação das propriedades físicas da pasta - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1991b.

_____. **NBR 12129: Gesso para construção - Determinação das propriedades mecânicas - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1991c.

_____. **NBR 12130:** Gesso para construção - Determinação da água livre e de cristalização e teores de óxido de cálcio e anidrido sulfúrico - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1991d.

_____. **NBR 12775:** Placas lisas de gesso para forro - Determinação das dimensões e propriedades físicas - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1993.

_____. **NBR 13207:** Gesso para construção civil – Especificação. Rio de Janeiro, 1994.

_____. **NBR 13858-2:** Telhas de concreto – Parte 2: Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 14513:** Telhas de aço revestido de seção ondulada – Requisitos. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 14514:** Telhas de aço revestido de seção trapezoidal – Requisitos. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 14715:** Chapas de gesso para drywall. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 15210:** Telha ondulada de fibrocimento sem amianto e seus acessórios. Parte 1 – Classificação e Requisitos. Rio de Janeiro, 2013.\

_____. **NBR 15310:** Componentes cerâmicos – Telhas – Terminologia, Requisitos e Métodos de Ensaio. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM 45:** Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR NM 52:** Agregado miúdo – Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO DRYWALL. **Resíduos de gesso na construção civil:** Coleta, armazenagem e reciclagem. São Paulo: Drywall, 2012.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE FABRICANTES DE TELHAS CERTIFICADAS DE CONCRETO. **Produção:** Fluxograma. Disponível em: <<http://www.anfatecco.com.br/fluxograma.php>>. Acesso em: 08 set. 2013.

ATUAL. **Sistema superwall** – Alvenaria em blocos de gesso. Disponível em: <http://www.atual.eng.br/2007/adm/arquivos/arq_200874_161551.DOC>. Acesso em: 15 set. 2013.

BRANRUP, J.; BITTNER, M.; MICHAELI, W.; MENGES, G. **Recycling and recovery of plastics;** Willenberg: Hanser Publishers; Munich, 1996.

BELMILOUDI, A.; MEUR, G.L. Mathematical and numerical analysis of dehydration of gypsum plasterboards exposed to fire. **Elsevier: applied mathematics and computation** 163, p. 1023 -1041, 2005.

BORGES, A. de C. **Prática das pequenas construções**. 9. ed., rev. e ampl. Revisores: José Simão Neto e Walter Costa Filho. São Paulo: Blucher, 2009.

Brandrup, J.; Bittner, M.; Michaeli, W.; Menges, G. Em **Recycling and recovery of plastics**; Willenberg, B., ed.; Hanser Publishers ed.: Munich, 1996.

BRASIL. Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília, 2 set. 1981. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=313>> Acesso em: 25 ago. 2013.

_____. Constituição (1988). Texto consolidado até a Emenda Constitucional nº 64 de 04 de fevereiro de 2010. Disponível em: <http://www.senado.gov.br/sf/legislacao/const/con1988/CON1988_04.02.2010/CON1988.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2013.

ÇENGER, Y.A; GHAJAR, A.J. **Transferência de calor e Massa**. Uma Abordagem Prática. 4 ed. New York: The McGraw-Hill Companies Inc., 2011.

CINCOTTO M. A.; HINCAPIE, A. M. Efeitos de Retardadores de Pega no Mecanismo de Hidratação e na Microestrutura do gesso de construção. **Ambiente Construído**, São Paulo, v. 1, n. 2, p.07-16, jul/dez 1997. Disponível em: <<http://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/3350/1801>>. Acesso em 15 ago. 2013.

CINCOTTO, M. A.; JOHN, V. M. Gesso de construção civil. In: ISAIA, Geraldo C. **Materiais de construção civil**. São Paulo: Ibracon, 2007. p. 727-760.

CINCOTTO, M. A.; MARQUES, J. C.; HELENE, P. R. L. Propriedades das Argamassas Cimento: Cal: Areia. In: SEMINÁRIO SOBRE ARGAMASSAS. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 1985.

COLONIAL TELHAS E TIJOLOS. **Telha Cerâmica Vermelha**. Disponível em: <<http://www.colonialtelhas.com.br/telhas>>. Acesso em: 25 mar. 2014.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **O que é o CONAMA?** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/estr.cfm>> Acesso em: 25 ago. 2013.

_____. **Resolução nº307/2002**. Alterada pelas Resoluções 348/2004, nº 431/2011, e nº 448/2012. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>>. Acesso em: 25 ago. 2013.

DACOL, S. **O potencial tecnológico da indústria da construção civil: uma proposta de modelo**. 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Centro tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1996.

DOMÍNGUEZ, L. V.; SANTOS, A. G. **Manual do gesso**. Tradução de Paulo Mariano Lopes. [s.l.: s.n.], ago. 2002.

EUROPEAN BIOPLASTICS. **Are the properties of bioplastics equal to those of conventional plastics?** Disponível em: <<http://en.european-bioplastics.org/press/faq-bioplastics/#properties>>. Acesso em: 15 set. 2013.

FORMOSO, C. T. Abatiendo Costos Mediante la disminución de pérdidas y desperdicios. In: Primer Foro Internacional sobre Gestión Empresarial em La Construcción. **Anais...** [S.l. : s.n., 199?].)

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP. SOUZA, M. F. **Gesso e Compósitos de alta resistência mecânica e baixa permeabilidade e seu processo de fabricação**. BR, PI0303814-9, 09/09/2003. Sistema Brasileiro de Respostas Técnicas. Minerais não metálicos.

GRAÇAS, J. A. das. **Residências Sustentáveis e sua contribuição ao meio ambiente**. Tese de Mestrado. 149p. Universidade do Minho. Escola de Engenharia, Braga, Portugal, 2010. Disponível em: <http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/24015/1/Tese_Jos%C3%A9_Augusto_das_Gra%C3%A7as_2010.pdf> Acesso em: 05 fev. 2014.

GREEN COATINGS. **Telhado Frio**. Green Coatings – Revestimentos Ambientais. Disponível em: <<http://greencoatings.com.br/telhadofrio.html>>. Acesso em: 16 fev. 2014.

GUETHS, M. Entulho engessado. **Revista CREA PR**. Curitiba: Toda Editora, n. 59, p. 32 e 33, set./out. 2009.

GYPSUM RECYCLING INTERNATIONAL (Dinamarca). **The recycling technology**. Disponível em: <<http://www.gypsumrecycling.biz/>>. Acesso em: 29 ago. 2013.

_____. **Why recycle**. Disponível em: <http://www.gypsumrecycling.biz/6688-1_Whyrecycle/>. Acesso em: 29 ago. 2013.

INCROPERA, F.P., DEWITT, D.P., **Fundamentos de Transferência de calor e de Massa**. Guanabara Koogan, 4 ed, Rio de Janeiro, 2003.

A INDÚSTRIA e a produção do vidro. São Paulo, Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Banco de Dados. Disponível em: <<http://www.fau.usp.br/deptecnologia/docs/bancovidros/prodvidro.htm>>. Acesso em: 15 set. 2013.

KANNO, W. M. **Propriedades mecânicas do gesso de alto desempenho**. Tese de Doutorado. 130p. Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ciências e Engenharia dos Materiais. Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Física de São Carlos, Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2009. Disponível em: < <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/88/88131/tde-21112010-084639/pt-br.php>>. Acesso em: 06 jan. 2014.

KARNI J.; KARNI, E. Gypsum in construction: origin and properties. **Materials and Structure**, v. 28, p.92-100, 1995.

LEUSIN, S. Existe inovação nas edificações? In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 16., 1996, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba, SP: UNIMEP/ABEPRO, 1996.

LEWRY, A. J.; WILLIAMSON, J. The setting of gypsum plaster: Part II The development of microstructure and strength. **Journal of Materials Science**, n. 29, p.5524-5528, 1994.

MANO, E. B.; MENDES, L. C; **Introdução a polímeros**, 2a ed., Edgard Blücher Ltda: São Paulo, 1999.

MARCONDES, F. C. S. **Sistemas logísticos reversos na indústria da construção civil**: estudo da cadeia produtiva das chapas de gesso acartonado. 2007. 365 p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia de Construção Civil e Urbana, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

MARISTELA. **Termo de Garantia. Manual de Instalação**. Disponível em: <<http://www.maristela.com.br/manual.pdf>>. Acesso em: 16 fev. 2014.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: microestrutura, propriedades e materiais. 3 ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

MENON, S.; AKBARI, H; MAHANAMA, S.; SEDNEV, I.; LEVINDON, R. Radiative forcing and temperature response to changes in urban albedos and associated CO₂ offsets. **Environmental Research Letters**, n.1 vol.5, 2010. Disponível em: < <http://iopscience.iop.org/1748-9326/5/1/014005/fulltext/>>. Acesso em: 15 set. 2013.

MORAES, S. R. P.; TINÔCO, I. F. F.; BAETA, F. C.; CECON, P. R. Conforto térmico em galpões avícolas, sob coberturas de cimento-amianto e suas diferentes associações. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.3, p.89-92, 1999.

NAIME, R.; SILVA, R. da. Utilização de Pneus usados na fabricação de telhas. **INGEPRO – Inovação, Gestão e Produção**. vol. 02, nº 01, jan. 2010. Disponível em: <http://www.ingepro.com.br/Publ_2010/Jan/170-531-1-PB.pdf>. Acesso em: 01 set. 2013.

NASCIMENTO, F. J. de F.; PIMENTEL, L. L. Reaproveitamento de Resíduo de Gesso. In: XV ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA PUC-CAMPINAS, 15., 2010, Campinas. **Anais eletrônicos...** Campinas: PUC Campinas, 2010. Disponível em: <https://www.puccampinas.edu.br/websist/portal/pesquisa/ic/pic2010/resumos/2010924_101439_502012254_resiaL.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2013.

NATIONAL SNOW & ICE DATA CENTER. **Thermodynamics: Albedo**. Disponível em: <<http://nsidc.org/cryosphere/seaice/processes/albedo.html>>. Acesso em 10 set. 2013.

PAOLI, M. A. de; SPINACÉ, M. A. da S. A tecnologia da reciclagem de polímeros. **Química Nova**. Campinas, vol. 28, n°. 1, p. 65-72, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v28n1/23041>> Acesso em: 20 jan. 2014.

PASSOS, P. R. de A. **Destinação Sustentável de Cascas de Coco (Cocos nucifera) Verde: Obtenção de Telhas e Chapas de Partículas**. 2005. 186 f. Dissertação (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <<http://www.ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/ppassos.pdf>>. Acesso em: 01 set. 2013.

PERALTA, G. **Desempenho térmico de telhas: análise de monitoramento e normalização específica**. 2006. 131 f. Dissertação de mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2006.

PERES, L.; BENACHOUR, M.; SANTOS, V. A. dos. **O gesso – produção e utilização na construção civil**. Recife: Bagaço, 2001. 94 p.

_____. **Gesso: produção e utilização na construção civil**. Recife: SEBRAE, 2008.

PETRUCCI, E. G.R. **Materiais de construção II**. Documento de apoio nº10. Curso de pós-graduação em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico de Lisboa, Portugal. 1992. p. 1487-1559.

_____. **Materiais de Construção**, 11ed. São Paulo: Globo, 1998.

PINHEIRO, S. M. de M. **Gesso reciclado: avaliação de propriedades para uso em componentes**. 2011. 330 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil. Universidade Estadual de Campinas, 2011. Disponível em: <<http://pct.capes.gov.br/teses/2011/33003017041P4/TES.PDF>>. Acesso em: 29 ago. 2013.

PINTO, J. C.; MAGRINI, A.; MELO, C. K.; CASTOR JR., C. A.; GAIOTO, C. C.; SANTOS, D. P. dos; BORGES, G.; ROSA, I. da S.; DELGADO, J. J. S.; SOUZA, M. N. de; OLIVEIRA, M. C. B. R.; SOUZA, P. N.; MELO JR., P. A.; ADERNE, R.; VASCONCELOS, S. M. R. **Impactos ambientais causados pelos plásticos: uma**

discussão abrangente sobre os mitos e dados científicos. Rio de Janeiro: E-Papers, 2012.

PINTO, T. P. Reciclagem de resíduos da construção urbana no Brasil: situação atual. In: WORKSHOP RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL, 1996, São Paulo. **Anais...** São Paulo: PCC-USP/NPC-UFSC, 1996. p. 159-70.

REPRESENTAÇÕES RS. **Telha de Plástico Paulistinha Colonial Capa – Pet.**

Disponível em: < <http://www.representacoesrs.com.br/telhas-de-plastico.html?dir=asc&limit=15&mode=list&order=price>> Acesso em: 09 fev. 2014.

RIBEIRO, A. S. **Produção de gesso reciclado a partir de resíduos oriundos da construção civil.** 2006. 86 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Departamento de Centro Tecnológico, Universidade Federal da Paraíba – UFPB, João Pessoa, 2006.

RÖCHLING – High Performance Plastics. **Sustadur PET.** Product Handling Information Sheet, 2012. Disponível em: <

https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCYQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.roechling.com%2Fde%2Fhochleistungs-kunststoffe%2Fthermoplastische-kunststoffe%2Fwerkstoffe%2Fpet%2Fsustadur-pet.html%3FfeID%3Ddam_frontend_push%26docID%3D6030&ei=SWABU4SgNITZkQeizIDYBQ&usg=AFQjCNGNFAWBbms2VZT3TIQfOtU_TUMhRg&sig2=XjUrN3KclxoYbCp2elVsRw&bvm=bv.61535280,d.eW0&cad=rja>. Acesso em: 16 fev. 2014.

SANTOS, N. R. G. dos. **Projeto, Construção e Análise de Desempenho de Coletores Solares Alternativos Utilizando Garrafas PET.** 2007. 100p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade do Rio Grande do Norte, Natal, 2007. Disponível em:

<<http://repositorio.ufrn.br:8080/jspui/bitstream/1/11221/1/NatanaeyfleRGS.pdf>> Acesso em: 09 fev. 2014.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL. **Mestre de Obras.** São Paulo: SENAI-SP editora, 2013.

SILVA, M. G. da; SILVA, V. G. da. Painéis de vedação. In: _____. Painéis de gesso acartonado. **Manual de construção em aço.** Instituto Brasileiro de Siderurgia. Centro Brasileiro da Construção em Aço. Rio de Janeiro, 2004. p. 51-59.

SONG, K. M.; MITCHELL, J.; JAFEL, H.; GLADDEN, L. F. Simultaneous monitoring of hydration kinetics, microstructural evolution, and surface interactions in hydrating gypsum plaster in the presence of additives. **Journal of Materials Science.**, v.45, p. 5282-5290, 2010.

SOUZA, A. C. A. G. de. **Análise Comparativa de custos de Alternativas**

Tecnológicas para construção de habitações populares. 2009. 180 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2009.

VIAPOL. **Viaflex Branco**. Disponível em:

<http://www.viapol.com.br/produtos_desc.php?menu=quimicos&codigo_item=32>.

Acesso em: 15 set. 2013.

TANIGUTTI, E. K. **Método construtivo de vedação vertical interna de chapas de gesso acartonado**. 1999. 316 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, 1999.

APÊNDICE

APÊNDICE A - Conjuntos de Possibilidades para o formato geral da telha

FORMATO	PREENCHIMENTO 1	COBERTURA 1	COBERTURA 2	COBERTURA 3
Colonial	Calcinado e Moldado	Vidro	PET	
Paulista	Calcinado e Moldado	Vidro	PET	
Colonial Gigante	Calcinado e Moldado	Vidro	PET	
Plan	Calcinado e Moldado	Vidro	PET	
Francesa	Calcinado e Moldado	Vidro	PET	
Romana	Calcinado e Moldado	Vidro	PET	
Portuguesa	Calcinado e Moldado	Vidro	PET	
Alemã (sobreposição)	Calcinado e Moldado	Vidro	PET	
Coppo Veneto	Calcinado e Moldado	Vidro	PET	
Plana (concreto)	Calcinado e Moldado	Vidro	PET	

Colonial	Prensado	Vidro	PET	Impermeabilizante
Paulista	Prensado	Vidro	PET	Impermeabilizante
Colonial Gigante	Prensado	Vidro	PET	Impermeabilizante
Plan	Prensado	Vidro	PET	Impermeabilizante
Francesa	Prensado	Vidro	PET	Impermeabilizante
Romana	Prensado	Vidro	PET	Impermeabilizante
Portuguesa	Prensado	Vidro	PET	Impermeabilizante
Alemã (sobreposição)	Prensado	Vidro	PET	Impermeabilizante
Coppo Veneto	Prensado	Vidro	PET	Impermeabilizante
Plana (concreto)	Prensado	Vidro	PET	Impermeabilizante

Colonial	Resíduo em pó	Vidro	PET	
Colonial Gigante	Resíduo em pó	Vidro	PET	
Plan	Resíduo em pó	Vidro	PET	
Romana	Resíduo em pó	Vidro	PET	
Portuguesa	Resíduo em pó	Vidro	PET	
Ondulada	Resíduo em pó	Polímero		
Trapezoidal	Resíduo em pó	Polímero		
Plana (concreto)	Resíduo em pó	Polímero		
Lisa/Chapa	Resíduo em pó	Polímero		