



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE ENERGIAS ALTERNATIVAS E RENOVÁVEIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS



BÁRBARA K. LACERDA ARNAUD

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE BLOCOS
PRÉ-MOLDADOS DE MATERIAL ALCALINAMENTE
ATIVADO APLICADO AO TELHADO VERDE**

JOÃO PESSOA - PB

2018

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

A744a Arnaud, Barbara Karoline Lacerda.

Avaliação de desempenho de blocos pré- moldados de material alcalinamente ativado aplicado ao telhado verde / Barbara Karoline Lacerda Arnaud. - João Pessoa, 2018.

72 f. : il.

Orientação: Kelly Cristiane Gomes.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/CEAR/PPGER.

1. Sustentabilidade - Construção civil. 2. Telhado verde. 3. Geopolímero. 4. Energias renováveis. I. Gomes, Kelly Cristiane. II. Título.

UFPB/BC

CDU 502.131.1+69(043)

PPGER/ MESTRADO ACADÊMICO

BÁRBARA K. LACERDA ARNAUD

Dissertação de Mestrado apresentada a Universidade Federal da Paraíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis do Centro de Energias Alternativas e Renováveis, área de concentração em Materiais Aplicados às Energias Renováveis.

Orientador (a)

Dr(a) Kelly Cristiane Gomes

JOÃO PESSOA - PB

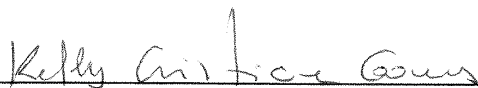
2018

BÁRBARA K. LACERDA ARNAUD

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE BLOCOS PRÉ-
MOLDADOS DE MATERIAL ALCALINAMENTE ATIVADO
APLICADO AO TELHADO VERDE**

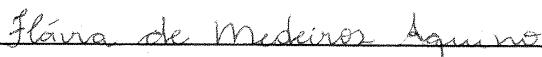
Dissertação de Mestrado aprovada em trinta de agosto de 2018

BANCA EXAMINADORA



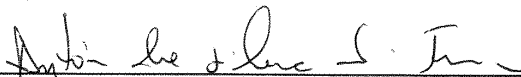
Prof. Dra. Kelly Cristiane Gomes (orientadora)

Universidade Federal da Paraíba (UFPB)



Prof. Dra. Flávia de Medeiros Aquino

Universidade Federal da Paraíba (UFPB)



Prof. Dr. Antônio da Silva Sobrinho Junior

Institutos Paraibano de Educação (UNIFE)

Dedico este trabalho aos meus pais, Simpício e Verônica que me incentivaram e me ensinaram a seguir a carreira acadêmica. Neles encontrei os melhores mestres que poderia ter.

Dedico ao meu esposo, Rodrigo, amigo e companheiro que me deu forças para nunca desistir.

RESUMO

A Construção Civil é uma das áreas que mais utiliza recursos naturais não renováveis no mundo, tendo em vista que é um dos pilares do desenvolvimento de uma sociedade. Mediante a criação de novas tecnologias, têm-se buscado cada vez mais a utilização de materiais de construção menos agressivos, com menor utilização de energia no seu processo de fabricação e de baixo impacto ambiental. Nesse sentido, este trabalho aborda questões de sustentabilidade na construção civil, reunindo técnicas de Telhado Verde (TV) juntamente com aplicações de Material Alcalinamente Ativado (MAA) a partir da elaboração de um bloco pré-moldado para coberturas verdes. Para tanto foram realizados estudos em argamassas de MAA avaliando o padrão construtivo a ser utilizados na confecção dos blocos, o tipo de matéria prima utilizada para a ativação alcalina (metacaulinita e solo intemperizado), dois tipos de ativadores alcalinos (silicato de sódio e de potássio), duas temperaturas de sínteses diferentes (50 °C e 75 °C) e duas idades diferentes (1 e 7 dias). As amostras foram caracterizadas física, química, mineralógica e microestruturalmente, bem como acessadas suas propriedades mecânicas em termos de resistência a compressão e flexão. Observou-se, que para os produtos obtidos, a idade e a temperatura de síntese influenciam em suas propriedades mecânicas e que o material sintetizado a base de metacaulinita e silicato de sódio a 50 °C apresenta melhores condições para a produção de blocos a serem aplicados em telhado verde.

Palavras-chave: Telhado verde, MAA, Sustentabilidade.

ABSTRACT

The Civil Construction is one of the areas that have the most nonrenewable natural resources in the world, considering what is one of the pillars of the development of a society. Through the creation of new technologies, they have increasingly sought the use of less aggressive building materials with less energy use in their manufacturing process and low environmental impact. This study, this approach to sustainability in the civil building bringing together techniques of the Green Roof (TV) along with application of the Alkaline Activated Material (MAA) from the preparation of a pre-molded block for green roofs. It was evaluated the constructive pattern to be used in the preparation of the MAA mortar blocks, the type of raw material used for alkaline activation (metacaulinite and weathered soil), two types of alkaline activators (sodium and potassium silicate), two different synthesis temperatures (50 °C and 75 °C) and two different ages (1 and 7 days). The samples were characterized physically, chemically, mineralogically and microstructurally, as well as their mechanical properties in terms of compression and flexural strength. It was observed that, for the products obtained, the age and the synthesis temperature influence its mechanical properties and that the material synthesized on the basis of metacaulinite and sodium silicate at 50 °C presents better conditions for the production of blocks to be applied in green roof.

Keywords: Green roof; AMM, Sustainability.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por tão maravilhosa Graça ter me concedido, pelo Seu imenso amor e misericórdia. Agradeço por Ele ter me entregue de presente esse Mestrado tão almejado.

Aos meus pais, por serem anjos na minha caminhada, por acreditarem no meu potencial, por se dedicarem a mim, me proporcionando o melhor ensino e me amando da melhor maneira possível.

Ao meu esposo Rodrigo, por ter acompanhado desde o início a minha luta e ter me dado forças para superar todos os obstáculos que encontrei. Por me corrigir quando precisei e me aplaudir quando mereci.

Às minhas irmãs que compartilharam comigo o sonho de entrar em uma pós-graduação e que são minhas companheiras de luta e de estudo.

À minha família em geral, que apesar de longe, sempre se faz presente em todos os momentos importantes, nunca esquecendo de mim, sempre mostrando que Deus é o responsável por tudo e que devo confiar Nele.

Aos meus amigos, por muitas vezes serem minha família, me ajudando, incentivando, acreditando na minha capacidade e compreendendo meus devaneios, mas sempre estando por perto dispostos a me ajudarem, ouvindo minhas angústias e dividindo momentos alegres.

Aos meus professores, desde os primeiros anos de escola, por terem passado um pouco dos seus conhecimentos e por sua paciência. Aos meus mestres Universitários que fizeram de mim a arquiteta que sou hoje.

Ao meu amigo Sobrinho Júnior, que com imensa sabedoria e palavras precisas me inspirou a crescer e ser sempre um pouco mais. Por ter disponibilizado o laboratório para a realização da pesquisa e por sempre se mostrar disponível em todos os momentos.

E, em especial à Professora Kelly Gomes, por me dar a oportunidade de fazer parte dessa luta em busca de um desenvolvimento mais saudável e sustentável para o planeta. Por acreditar em mim, por sua paciência, por sua forma amorosa de orientar aos seus alunos e por sua doçura que me acalmava nos momentos de desespero.

Enfim, a todos aqueles que, à sua maneira, contribuíram na minha formação direta e indiretamente e assim tornaram possível esse trabalho.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01:	Tripé da sustentabilidade.....	17
Figura 02:	Cadeia produtiva da construção civil em obras de edificações	18
Figura 03:	Diagrama do conforto humano.....	20
Figura 04:	Ciclo de criação de um projeto arquitetônico.....	20
Figura 05:	(a) Perfil genérico de uma cobertura com vegetação.....	24
Figura 05:	(b) Perfil genérico de uma cobertura com vegetação.....	24
Figura 06:	(a) Aplicação da camada de drenagem.....	25
Figura 06:	(b) Aplicação da camada de drenagem.....	25
Figura 07:	Tipos de vegetações que podem ser aplicadas a um telhado verde.....	26
Figura 08:	Telhado verde, imagem contemplativa.....	27
Figura 09:	Modelo conceitual para síntese de geopolímeros.....	29
Figura 10:	Planta baixa esquemática da casa ecológica.....	34
Figura 11:	(a) Estrutura em madeira.....	35
Figura 11:	(b) Área externa da residência.....	35
Figura 12:	Corte esquemático do telhado, com foco nos canos de PVC.....	35
Figura 13:	(a) Aplicação do betume.....	36
Figura 13:	(b) Aplicação do betume.....	36
Figura 14:	(a) Aplicação da camada de bidin.....	36
Figura 14:	(b) Aplicação da camada de bidin.....	36
Figura 15:	(a) Aplicação da manta asfáltica.....	37
Figura 15:	(b) Aplicação da manta asfáltica.....	37
Figura 16:	(a) Aplicação do substrato.....	37
Figura 16:	(b) Aplicação do substrato.....	37
Figura 17:	(a) Telhado finalizado.....	38
Figura 17:	(b) Desenho paisagístico.....	38
Figura 18:	Telhado verde da casa ecológica 1 ano após a construção.....	38
Figura 19:	Fluxograma da seleção de materiais e as condições de ensaio.....	39
Figura 20:	Fluxograma geral.....	40
Figura 21:	Caracterizações a serem empregadas no material precursor do MAA e nos	

	blocos pré-moldados fabricados.....	41
Figura 22:	Tipologias dos blocos pré-moldados a serem empregados na pesquisa.....	43
Figura 23:	Esquema de um telhado verde com o bloco pré-moldado de Material Alcalinamente Ativado.....	44
Figura 24:	Protótipo do bloco.....	45
Figura 25:	Difratogramas dos precursores utilizados na pesquisa. (a) MK e (b) SI. (Q) Quartzo, K (Caulinita), G (Goetita) e R (Rutilo utilizado como referência) ..	47
Figura 26:	Espectro de infravermelho das matérias-primas precursoras utilizadas na pesquisa.....	48
Figura 27:	Resistência a compressão simples aos 07 (sete) dias das pastas de MAA a base de MK+Silicato de Sódio e SI+Silicato de Sódio, nas mesmas condições de síntese.....	49
Figura 28:	(a) Instrumentos utilizados para a preparação do traço.....	50
Figura 28:	(b) Instrumentos utilizados para a preparação do traço.....	50
Figura 28:	(c) Instrumentos utilizados para a preparação do traço.....	50
Figura 29:	(a) Forma de madeira naval, colocação do traço em forma e armazenamento das barras em temperatura de estudo	51
Figura 29:	(b) Forma de madeira naval, colocação do traço em forma e armazenamento das barras em temperatura de estudo.....	51
Figura 29:	(c) Forma de madeira naval, colocação do traço em forma e armazenamento das barras em temperatura de estudo	51
Figura 30:	Armazenamento das barras enquanto aguardavam as próximas etapas de ensaios	52
Figura 31:	(a) Maceração das amostras das barras prismáticas.....	54
Figura 31:	(b) separação do material.....	54
Figura 32:	Difratogramas dos MAA a base de MK e Silicato de Sódio produzidos na pesquisa.....	55
Figura 33:	Difratogramas dos MAA a base de MK e Silicato de Potássio produzidos na pesquisa.....	55
Figura 34:	Micrografias do MAA a base de MK e Silicato de Sódio em diferentes ampliações.....	56
Figura 35:	(a) Realização dos ensaios de RCS para o MAA de MK+SiNa (7 dias)	57
Figura 35:	(b) Realização dos ensaios de RCS para o MAA de MK+SiNa (7 dias)	57

Figura 36:	CP de MAA de MK+SiNa (7 dias) após a realização dos ensaios de RCS.....	57
Figura 37:	Resultados de RCS para os MAA's produzidos na pesquisa avaliando Temperatura, Idade e Tipo de Ativador Alcalino.....	57
Figura 38:	Barras de Argamassas de MAA a base de MK e Silicato de Sódio curados a 75°C, durante da realização do ensaio de Flexão, antes do rompimento	58
Figura 39:	Barras de Argamassas de MAA a base de MK e Silicato de Sódio curados a 50°C (esquerda) e 75°C (direita) após a realização do ensaio de Flexão.....	59
Figura 40:	Relação entre Resistência a Flexão e Temperatura e tempo de cura.....	59
Figura 41:	Relação entre a absorção (%) e a RCS dos MAA's produzidos.....	60
Figura 42:	Relação entre a absorção (%) e a Resistencia a Flexão dos MAA's produzidos.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Composição química das matérias-primas precursoras do MAA.....	46
Tabela 02: Resultado de absorção do MAA produzido.....	53
Tabela 03: Composição química das matérias-primas precursoras do MAA.....	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BID	Banco Interamericano do desenvolvimento
CC	Construção Civil
CNMA	Conferencia Nacional do Meio Ambiente
FTIR	Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier
ICES	Programa Cidades Emergentes e Sustentáveis
MAA	Material Alcalinamente Ativado
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MK	Metacaulinita
NBR	Norma Brasileira de Representação
PNRS	Política Nacional dos Resíduos Sólidos
SI	Solo Intemperizado
TV	Telhado Verde

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. OBJETIVOS.....	16
2.1. Objetivo Geral.....	16
2.1. Objetivo Específico.....	16
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
3.1. Sustentabilidade.....	17
3.1.1. Construção civil e impacto ambiental.....	18
3.1.2. Arquitetura sustentável.....	19
3.2. Telhado verde.....	21
3.2.1. Estrutura do telhado verde.....	23
3.2.2. Benefícios do telhado verde.....	27
3.3. Material alcalinamente ativado.....	27
3.4. Legislações locais.....	29
3.5. Projetos correlatos.....	32
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	38
4.1. Caracterização.....	40
5. RESULTADOS INICIAIS E DISCURSÕES.....	42
5.1. Definição do bloco.....	42
5.2. Caracterização do material precursor com escolha da matéria a ser utilizada na produção.....	44
5.2.1. Fluorescência de Raios-X.....	44
5.2.2. Difração de Raios-X.....	44
5.2.3. Espectroscopia de infravermelho.....	45
5.2.4. Resistência a compressão simples.....	46
5.3. Preparação das barras prismáticas.....	47
5.3.1. Definição do traço.....	47
5.3.2. Preparação das barras.....	48
5.4. Caracterização dos materiais produzidos.....	50

5.4.1. Absorção.....	50
5.4.2. Fluorescência de Raios-X.....	
5.4.3. Difração de Raios-X.....	52
5.4.4. Microscopia óptica.....	54
5.4.5. Resistência mecânica.....	54
5.4.5.1. Resistência a compressão simples.....	54
5.4.5.2. Resistência a flexão.....	56
5.4.5.3. Resistência x absorção.....	57
6. CONCLUSÃO.....	60
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	61
REFERÊNCIAS.....	62
ANEXOS.....	64
Anexo 01.....	64
Anexo 02.....	65

1. INTRODUÇÃO

Apesar da vida cotidiana se desenvolver em ambientes edificados, uma das atividades menos sustentáveis do planeta é a indústria da Construção Civil (CC) que consome mais de 50% dos recursos mundiais (EDWARDS, 2005). Além de utilizar energia de forma intensiva é também o setor que mais gera resíduos sólidos no mundo (MMA, 2018). A relação qualidade de vida e ambiente construído, confeccionam o liame entre construção e meio ambiente.

São esses ambientes edificados que abrigam, na maior parte do tempo, os seus usuários, que vêm a se resguardar no interior das edificações passando uma grande parcela de seu tempo diário, sejam elas, sua residência, como habitação, local de trabalho (empresas e indústrias), shoppings, hospitais e equipamentos para lazer, o que força às edificações a alcançarem padrões mais elevados de conforto para seus usuários. É decorrente da relação pessoa, clima e edifício, que o consumo de energia, cresce desenfreadamente, causando um grande impacto ambiental negativo que influencia no clima local, nas edificações e nos recursos naturais disponíveis (GONÇALVES, 2015).

A construção civil é responsável pela implementação de toda a infraestrutura básica ou seja, o conjunto de equipamentos urbanos necessário para uma população: saneamento básico (abastecimento de água e rede de esgotos), transporte (vias de pavimentação), energia (iluminação pública e domiciliar) (GOLDEMBERG, 2014) além de ser o ramo que produz a maior quantidade de resíduos sólidos no mundo (EDWARDS, 2005) é tido também como o que gera o maior impacto ambiental negativo no planeta (SANCHEZ, 2013). Entende-se por impacto "qualquer alteração no meio ambiente em um ou mais de seus componentes provocada por uma ação humana" (SANCHEZ, 2013).

Para agravar mais esse impacto ambiental negativo causado pelas construções, o setor da construção civil é considerado o ramo que mais emite CO₂, tornado-se líder mundial na colaboração para o efeito estufa (GOLDEMBERG, 2014). O dióxido de carbono, é um dos principais gases responsáveis pelo aquecimento global, considerado aquele que é mais emitido pela ação do homem, assim, sua diminuição seria um resultado atribuído às mudanças nos métodos e materiais de construção. A construção, também, é o setor que consome mais

energia primária no mundo cerca de 25% está diretamente ligada à ocupação de edifícios, e dessa porcentagem a maior parcela encontra-se nos países desenvolvidos (LEVINE et al., 2007).

Para amenizar esse grande impacto ambiental causado pela indústria da construção civil, visa-se a implantação de métodos e soluções mais sustentáveis à edificação, tais como a implantação de telhados verdes, que tem como objetivo a diminuição do impacto ambiental negativo, através da redução do uso dos recursos naturais não renováveis e do aproveitamento de uma área das edificações antes esquecida.

Nesse sentido, a utilização de materiais de construção como os telhados verdes é uma alternativa sustentável de construção. Entende-se por telhados verdes, coberturas ou telhados que, depois de adaptadas, recebem um solo ou substrato e uma vegetação pré-selecionada que se adapte ao clima do local escolhido (EDWARDS, 2005), e formam o fechamento da parte superior das edificações de forma a torná-las mais úteis, trazendo benefícios tanto para o microclima da edificação quanto para o macroclima das cidades, trazendo diminuição das ilhas de calor. Os telhados verdes podem ser classificados como: intensivos e extensivos, podendo servir tanto para o cultivo de alimentos como para um jardim contemplativo, além de poderem ser construídos de diferentes formas e para diferentes finalidades.

O presente trabalho apresenta um estudo do potencial de Materiais Alcalinamente Ativados (MAA) aplicado ao telhado verde, analisando-se tanto o material precursor quanto o efeito da temperatura, do ativador alcalino e da idade para a produção dos blocos pré-fabricados, comparados com os blocos tradicionais a base de cimento Portland.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Estudar e avaliar o desempenho de blocos pré-moldado de telhado verde a base de material alcalinamente ativado.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Avaliar o efeito da matéria prima nas propriedades física, química, mineralógica e microestrutural dos blocos de argamassas a base de MAA;
- ✓ Avaliar o efeito do ativador alcalino nas propriedades física, química, mineralógica e microestrutural dos blocos de argamassas a base de MAA;
- ✓ Avaliar o efeito da temperatura nas propriedades física, química, mineralógica e microestrutural dos blocos de argamassas a base de MAA;
- ✓ Avaliar o efeito da idade nas propriedades física, química, mineralógica e microestrutural dos blocos de argamassas a base de MAA;
- ✓ Estudar o desempenho mecânico dos blocos pré-fabricados a base de MAA;

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 SUSTENTABILIDADE

O conceito de sustentabilidade dá-se através da união de três aspectos: ambientais, sociais (culturais) e econômicos, formando um tripé (Figura 01), base para o desenvolvimento sustentável. Através dessas três questões, possui-se como um desafio, a evolução da economia, respondendo às necessidades da sociedade e a condução de um desenvolvimento ambiental saudável, prevendo as necessidades das iminentes gerações (GOLDEMBERG, 2014).

A amplitude desse conceito, dá-se pela abrangência dos aspectos que o compõem dentre esses, o Ambiente, parte integrante do tripé, têm sua essência maleável e multifacetada, além de abranger a natureza e a sociedade, pode ser visto por diferentes perspectivas e pode ser reduzido ou ampliado de acordo com as necessidades. Afora estas características, cada país contém sua própria explicação de Ambiente, que ao mesmo tempo não é elucidado de forma clara, tornando-a incompleta e aberta a divergentes interpretações (SÁNCHEZ, 2013).

Definir sustentabilidade é de fato um ato complexo, mas contrário ao que seu efeito pode alcançar, pois ela é altamente integradora visto que promove uma evolução social com mais segurança e estabilidade ao homem e trás mais exequibilidade econômica, possibilitando a produção de patrimônios mais duradouros e agradáveis do ponto de vista do investimento. (SENGE, 2012).



Figura 01. Tripé da sustentabilidade. Fonte: Elaborada pelo autor (2018)

3.1.1 CONSTRUÇÃO CIVIL E IMPACTO AMBIENTAL

Os desafios da Construção Civil (CC) associados à sustentabilidade são imensamente numerosos e de extrema responsabilidade, a começar pelos efeitos causadores das mudanças climáticas, compreendendo a emissão de CO₂ decorrente da produção de materiais, do funcionamento dos edifícios e do transporte tanto da matéria prima quanto dos resíduos gerados pela CC (EDWARDS, 2005). Mais a frente, pode-se deparar com o impacto ambiental negativo causado pelas edificações, no momento da construção, seguindo pela sua adaptação ao ambiente construído que também acarreta perdas para o meio.

Uma série de acontecimentos podem ser gerados apenas pela implantação de edifícios em locais não previamente analisados como: aumento no risco de enchentes, decorrentes das intensas chuvas e das áreas densamente povoadas; aumento da temperatura ambiental, o que acarreta no crescimento do uso da energia elétrica decorrente da alta demanda por ar condicionado (GOLDEMBERG, 2014).

Como citado anteriormente, a CC é um dos ramos que mais consome os recursos naturais do planeta, tendo em vista que é o que está em constante crescimento em todo o mundo. Madeira, metal, areia, são exemplo de matérias primas extraídas diariamente para a fabricação de ferramentas e materiais utilizados na construção que causam um imenso impacto ambiental negativo, como exemplificado na Figura 02.

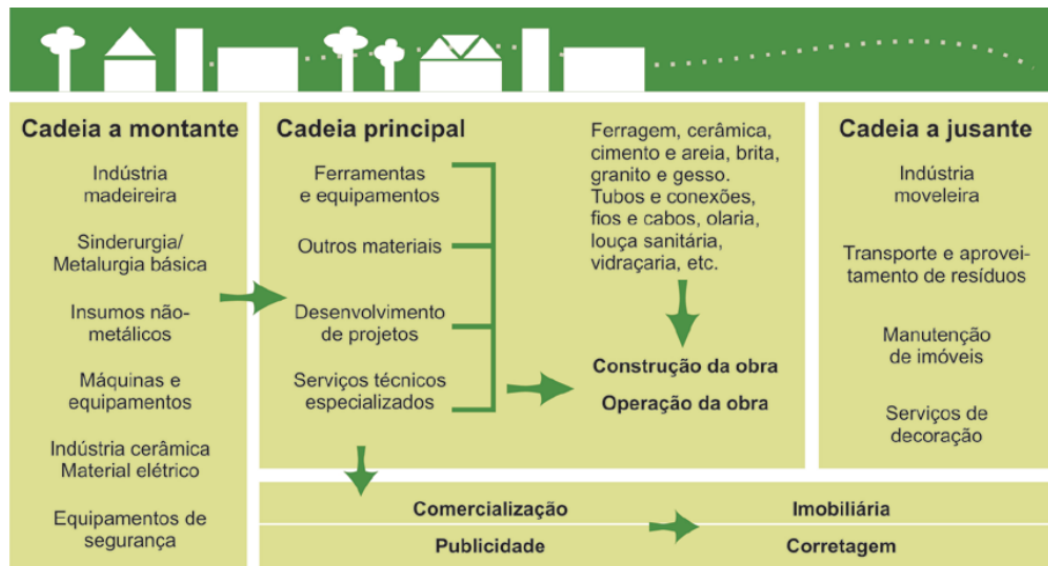


Figura 02. Cadeia produtiva da Construção Civil em Obras de Edificações. Fonte: SENGE (2012)

Levando-se em consideração, o gigantesco impacto ambiental negativo causado pela extrassão de materiais, as construções também aumentam esse choque quando não se adaptam ao ambiente em que foi construída ou até mesmo quando se adéquam ao local, a exemplo disso, a água, que em diversas ocasiões, lixívia perigosos compostos químicos que por sua vez estavam incorporados em materiais, isso, independe da região de implantação da edificação. Além disso, pode-se incluir a utilização de materiais que colaboram para a formação do *smog*², compostos voláteis orgânicos, e o aquecimento global (GOLDEMBERG, 2014).

3.1.2 ARQUITETURA SUSTENTÁVEL

É notável a extrema importância do papel da Arquitetura no desenvolvimento sustentável, tanto para o uso dos materiais como para o funcionamento do próprio edifício e a qualidade ambiental, onde o ponto mais importante é o conforto térmico, que contribui para a comodidade do usuário (GONÇALVES E BODE, 2015).

Cada etapa de um projeto arquitetônico deve ser pensada e analisada a partir do ponto de vista sustentável, partindo da escolha dos materiais até a divisão interna dos ambientes da edificação, visando o melhor fluxo de pessoas, a circulação do vento e a iluminação natural da edificação, aspirando a diminuição do consumo de energia elétrica com a utilização de condicionadores de ar e iluminação artificial.

É importante resaltar que as etapas construtivas alocadas em ordem correta, diminuem a geração de resíduos e o desperdício de materiais de construção, além de evitar o aumento dos custos do empreendimento. A durabilidade de uma construção também é fator significativo, pois uma edificação mal projetada e com materiais inadequados, pode acarretar em problema futuros tanto para a construtora quanto para o proprietário (SENGE, 2012).

A orientação da edificação, é um dos principais motivos para o aumento do consumo de energia da edificação, um edifício mal orientado, acarreta em um microclima desconfortável, muito quente ou muito frio, dependendo da localização, além da inviabilidade da aplicação de painéis solares ou fotovoltaicos. As aberturas da edificação, implicam na circulação da ventilação e em sua intensidade assim como a localização do mobiliário pode acarretar no bloqueio do fluxo de ar da edificação, criando ambientes insalubres e com péssimas condições de conforto para a realização do trabalho. Abaixo, observa-se o diagrama do conforto humano, indicando a zona mais confortável para o ser humano, como observado pela Figura 03.

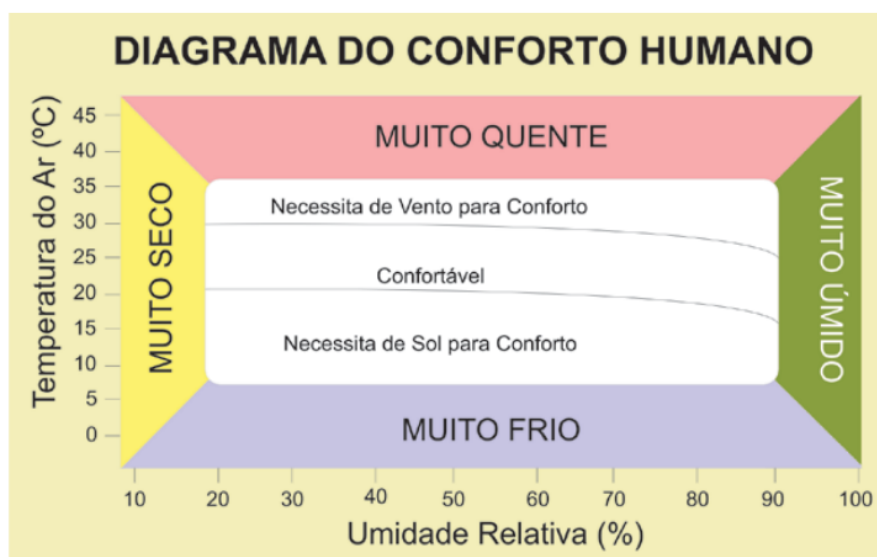


Figura 03. Diagrama do conforto humano. Fonte: SENGE (2012)

Aliada ainda a sustentabilidade de uma edificações, encontra-se o emprego de soluções arquitetônicas voltadas ao conforto térmico, lumínico e acústico, que trazem resultados como, *Brises Solei*, beirais, iluminação zenital, jardins internos, marquises, revestimentos acústicos, revestimentos térmicos, telhado verde, ventilação cruzada, jardim vertical, pátios internos entre outras inúmeras soluções arquitetônicas, criadas para adaptar uma edificação ao clima e local onde é implantada (LENGEN, 2014).

Na Figura 04 observa-se o ciclo de criação de um projeto arquitetônico envolvendo apenas soluções sustentáveis.



Figura 04. Ciclo de criação de um projeto arquitetônico. Fonte: Adapta de SENGE (2012).

Nesse sentido, a adoção de materiais sustentáveis também traz grandes benefícios às construções, pois em sua maioria, são materiais com baixo impacto ambiental, que demandam pouca energia no seu processo de fabricação, não são tóxicos, e são produzidos com recursos naturais renováveis (SENGE, 2012).

Dentre esses materiais não convencionais na arquitetura e na construção tem-se: o tijolo ecológico ou tijolo de solo-cimento, feito com terra local prensada, podendo ser confeccionado na própria obra; a utilização de madeira de reflorestamento, advinda de espécies de rápido crescimento e de fácil plantio e adaptação aos variados climas, ou madeiras sintéticas; cerâmicas de baixo impacto, azulejos hidráulico e pastilhas de fibras naturais; telhados e fachadas verdes, com a aplicação de vegetação em suas faces.

3.2 TELHADO VERDE

Em 1950 quase 1/3 (um terço) da população mundial vivia nos grandes centros urbanos, já nos dias atuais, quase 70% da população brasileira vive na área urbana, habitando área de preservação e ocupando o espaço verde restante (ARAÚJO, 2007). Em algumas cidades brasileiras, a exemplo da grande São Paulo, nos períodos de inverno, as fortes chuvas causam desabamentos de barreiras soterrando algumas residências ocasionando a morte de

seus moradores. Isso ocorre devido à falta de área permeável para absorção da imensa quantidade de água que não tem opção para escoamento, devido.

Quase três séculos depois da revolução industrial, onde o êxodo rural acarretou na superpopulação das cidades, obrigando-as a crescerem em número de habitantes e em uma infraestrutura precária e abriu-se mão da vegetação pré-existente nas cidades, o homem busca um meio de trazê-la de volta, sentindo as consequências da substituição de áreas verdes por área edificada.

Essa rápida expansão das cidades, algumas de forma desordenada e sem estudo, causou o aparecimento das ilhas de calor, efeito que acarreta o aumento da temperatura local devido ao alto grau de urbanização. Em períodos de verão, as temperaturas ficam muito elevadas, chegando a atingir, em algumas cidades brasileiras temperaturas acima de 40 °C (EDWARDS, 005).

Um dos meios encontrados para solucionar de forma rápida esse problema é a implantação de condicionadores de ar nas edificações, uma solução não sustentável, mas mais rápida de ser executada, por isso, muitas vezes adotada pela população, o que acarreta na utilização de muita energia e mão de obra gerando grandes gastos tanto para o proprietário quanto para o meio ambiente. O problema do clima urbano evoluiu a um ponto que a solução mais aceitável é o retorno ao meio rural, ou melhor, é trazer características do meio rural para o meio urbano.

Dessa maneira, uma solução utilizada há muito tempo na história da humanidade torna-se novamente necessária nos dias atuais: o telhado verde. A utilização dessa técnica construtiva não surgiu na modernidade, as antigas civilizações como, Babilônia, Escandinávia e outras localizadas em áreas de temperatura mais baixa, utilizavam coberturas vegetais nas edificações com o intuito de melhorar a qualidade ambiental, aumentando a temperatura e de estética visual (NEUFERT, 2013).

A tecnologia do telhado verde como um instrumento funcional para a civilização tem sua origem em diferentes regiões do mundo. Na Escandinávia, os telhados eram cobertos com uma mistura de terra e grama como forma de isolamento térmico. Abaixo dessa camada eram colocadas pesadas vigas de madeira intercaladas com cascas de árvores para a impermeabilização do telhado (RODRIGUEZ, 2006).

Entretanto, somente nos anos de 1970, organizações privadas juntamente com universidades e centros de pesquisa começaram a desenvolver, na Alemanha, pesquisa sistemática com telhado verde e suas aplicações, introduzindo conceitos de habitats ecológicos em áreas urbanas e iniciando avaliações sobre o balanço energético e a drenagem.

A cultura do telhado verde, espalhou-se pela região Iraquiana, na antiguidade, por causa do ótimo desempenho térmico que apresentava proporcionado pela união do substrato e da vegetação que impediam a passagem do calor para o interior das edificações e em épocas com temperaturas mais baixas, barravam a saída do calor do meio interno para o meio externo (OSMUNDSON, 1999). Nas pradarias Norte Americanas, no século XIX, era comum encontrar cabanas com gramíneas no telhado e na Escandinávia o gramado era um material barato e disponível para a construção juntamente com cascas e gravetos que juntos compunham o material necessário para a construção de chalés.

A Alemanha, é um país que se tornou referência quando se trata de telhado verde, investindo em pesquisas e na melhoria das coberturas vegetais, tem uma grande parcela de suas edificações com algum tipo de vegetação implantada nas coberturas. Como incentivo a aplicação dessa tecnologia, algumas cidades adicionaram as suas legislações urbanas, a implantação do telhado verde, uma solução prática e saudável para o clima urbano. (HENEINE, 2008).

Nos dias atuais, pode-se encontrar na Europa, políticas de incentivo à utilização dos telhados verdes, sendo uma delas a isenção da taxa de tratamento de águas pluviais caso o proprietário da edificação utilize alguma cobertura vegetal. Essa cobertura tem sido utilizada não só em residências particulares, mas em indústrias e edifícios comerciais e residenciais. Na Alemanha, a necessidade do telhado verde surgiu por preocupações ambientais, já nos Estados Unidos e no Canadá, por questões econômicas. Na Noruega, a utilização da cobertura verde é mais uma questão cultural, vista com romantismo pela população.

No Brasil, a utilização de terraços e coberturas verdes começou com o arquiteto e paisagistas, Roberto Burle Marx, no Ministério da Educação e Cultura, no Museu de Arte Moderna no Rio de Janeiro, em edifícios da Petrobrás e na associação Brasileira de Imprensa. Presentemente, a aplicação de coberturas vegetais no Brasil ainda é muito tímida, podendo ser encontradas em algumas residências, em guaritas de edifícios residenciais e em algumas edificações que optaram pela construção sustentável.

Na cidade de João Pessoa, a aplicação do telhado verde ainda é muito escassa, e quando encontrada, exercida de forma inadequada, em razão de que algumas edificações a utilizam com o objetivo meramente estético, sem se preocupar com a funcionalidade e o funcionamento. O Hotel Verde Green, referência na cidade na aplicação de tecnologias sustentáveis, localizado no bairro de Tambaú, apresenta a aplicação de um teto jardim e outras soluções ecológicas assim como algumas residências de forma total ou parcial na sua cobertura.

3.2.1 ESTRUTURA DO TELHADO VERDE

Quanto a categoria dos Telhados, a Associação Internacional de Telhado Verde (INTERNATIONAL, 2010) divide o mesmo em três categorias distintas, pela densidade de plantio, tipo de vegetação utilizada e capacidade estrutural do telhado, a saber:

- (a) **Extensiva:** para estruturas de telhados com pouca capacidade de carga e custos mais baixos, uma vez que exige pouca irrigação e adubação.
- (b) **Semi-intensiva:** maior capacidade de carga e custos medianos para a manutenção.
- (c) **Intensiva:** alta capacidade de carga. Exige qualidade de manutenção, irrigação permanente e adubação constante.

Os telhados podem ser construídos de diversas maneiras, uma delas é a aplicação do substrato direto na laje impermeabilizada e outra maneira, mais rápida, de sua elaboração é a aplicação de caixas pré-fabricadas já com o substrato e a vegetação global (GOLDEMBERG, 2014). Como o tema de telhados verdes é um pouco limitado no Brasil, as técnicas construtivas e o tempo para a elaboração dessa cobertura são um pouco mais demoradas, diferente de outros países como Estados Unidos e Alemanha, onde esses métodos de elaboração de telhados tornaram-se mais rápidos e práticos decorrente da fácil disponibilidade de materiais.

A primeira forma, consiste primeiramente na aplicação de uma camada impermeabilizante na cobertura da edificação, seguindo na aplicação de um substrato e da vegetação escolhida a ser plantada no telhado, ocupando total ou parcialmente a extensão da coberta desse edifício (Figura 05).

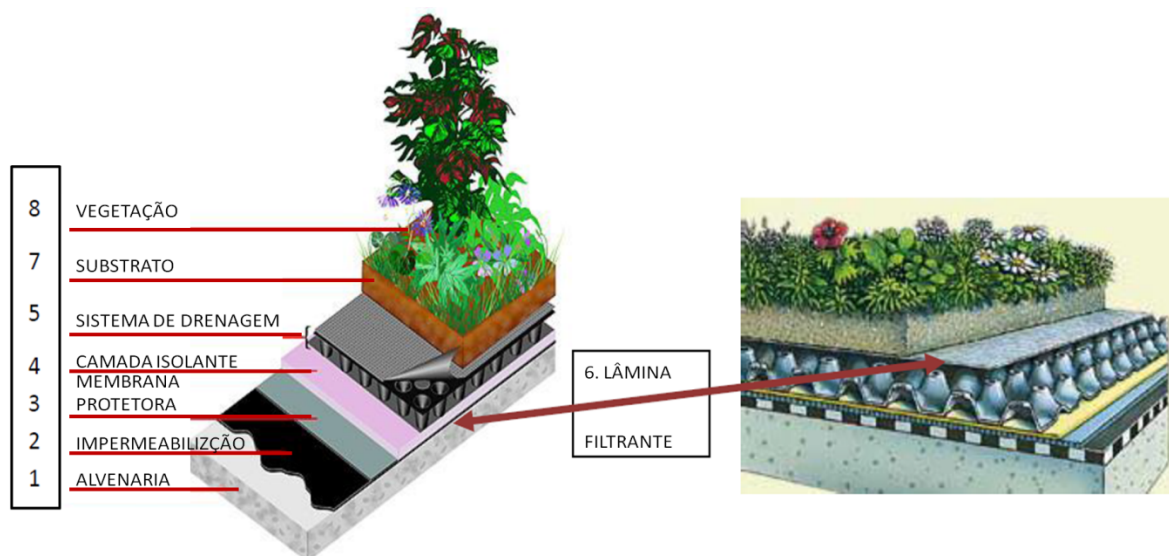


Figura 05. Perfil genérico de uma cobertura com vegetação.

A estrutura do TV pode ser implantada em diversos tipos de coberturas, construídas ou a serem construídas, como por exemplo: concreto armado, madeira, aço e outras estruturas com materiais não convencionais, desde que suportem a carga necessária e se adaptem às características mínimas exigidas para a sua aplicação na estrutura de uma edificação. O segundo passo, e indispensável, é a impermeabilização, que tem como função impedir a infiltração de água advinda da rega da vegetação ou das chuvas na estrutura da cobertura do edifício, essa camada, evita que a absorção indevida da água pela cobertura da edificação, cause danos a estrutura e futuras patologias ao edifício (SENGE, 2014).

A camada de proteção contra raízes é aplicada à estrutura para impedir que as raízes de algumas espécies de plantas, ao se desenvolverem, perfure ou danifique de alguma forma a camada impermeabilizante que protege a laje da edificação. Essa camada se ocasionalmente for menosprezada, acarretará em grandes danos à edificação. Logo após essa camada, segue-se o isolamento térmico, que pode ser ignorado ou não, isso dependerá do objetivo do telhado verde, já que é utilizado para barrar a temperatura advinda do meio externo através da condução térmica.

A camada de drenagem (Figura 06) e não menos importante, consiste em uma camada mais espessa que as demais, vindo a depender do material adotado, utilizada para a filtragem e escoamento da água impedindo que a mesma se acumule em pontos específicos do telhado.

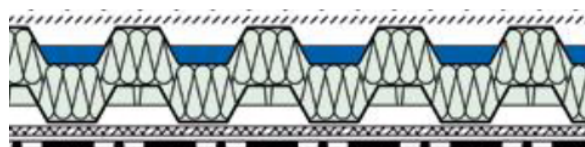


Figura 06. Aplicação da camada de drenagem.

Após a aplicação da camada de drenagem, segue-se a lâmina filtrante, empregada para separar a camada anterior do substrato, impedindo a passagem do mesmo, e de alguns grãos com maior granulometria para a camada de drenagem, evitando assim a obstrução dos dutos condutores da água. A camada de substrato, pode constituir-se em areia preta, vermiculita (optativa) e outro substrato adequado ao plantio ou a vegetação que será aplicada. Receberá toda a vegetação, devendo ser rico em nutrientes e bem regado.

A Figura 07 apresenta alguns tipos de vegetações que podem ser aplicadas a um telhado verde.

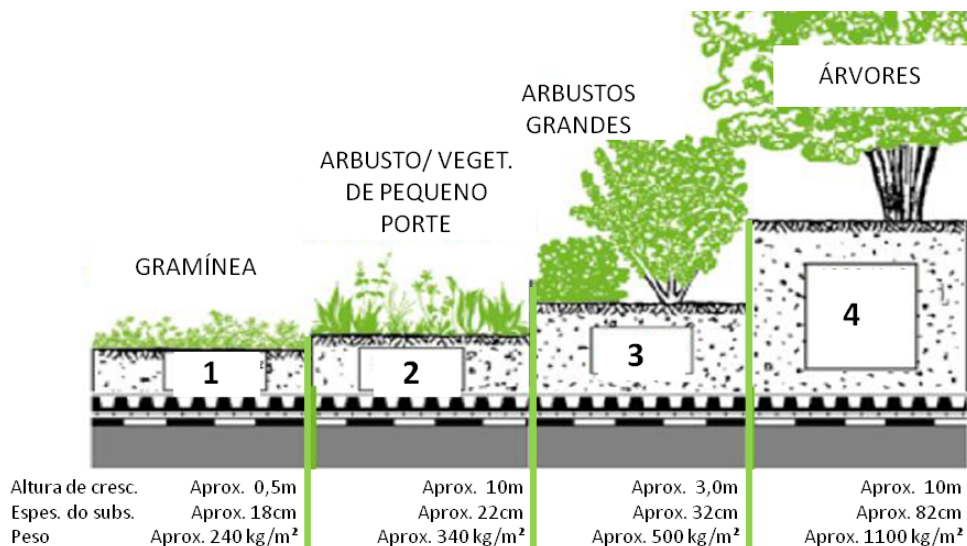


Figura 07. Tipos de vegetações que podem ser aplicadas a um telhado verde.

A ultima camada, e praticamente o objetivo da construção, é a camada de vegetação, que equivale as plantas que serão implantadas no telhado verde. Deverá ser muito bem escolhida e adaptada ao clima onde for implantada, além de adequada ao tipo de cobertura, se extensiva ou se intensiva (Anexo 01), conforme pode ser observado na Figura 07.

As Telhados verdes trazem dezenas de vantagens para a edificação e para o seu entorno, tais como:

- (i) Capacidade de diminuir a temperatura no interior das edificações assim como influenciar no microclima, pois aumentam a umidade do ar circundante, não contendo apenas um valor estético (GOMEZ, 1998);
- (ii) Pode ser considerado um recurso hídrico, pois em períodos chuvosos, a água passa a ser absorvida por todo o telhado, o que diminui o risco de enchentes, já que a área permeável do terreno, apesar de conter uma edificação, continua tão grande como antes da construção;
- (iii) Melhoria na qualidade do ar, pois os poluentes se aderem ao substrato assim como o gás carbônico contribuindo para a diminuição do efeito estufa (DIMOUDI & NIKOLOPOULOU, 2003);
- (iv) Baixo custo de manutenção, se construído da maneira correta, com plantas de crescimento lento e suculentas, o Telhado Verde contrasta com o concreto das edificações trazendo vida a uma área antes inutilizada.
- (v) A vegetação não precisa ser aplicada apenas em coberturas, as paredes também podem receber esse tipo de aplicação contribuindo para a diminuição da temperatura interna da edificação;
- (vi) A área útil da edificação aumenta já que uma área que seria inutilizada está abrigando vegetação podendo ser para o cultivo de alimentos ou mesmo como áreas contemplativas (NIACHOU, 2001), como observado na Figura 08.



Figura 08. Telhado verde, imagem contemplativa (SÉRGIO ROCHA, 2014)

3.2.2 BENEFÍCIOS E VANTAGENS DO USO DO TELHADO VERDE

Em estudos científicos, vários trabalhos apontam redução significativa da temperatura no interior das edificações, quando comparado aos telhados tradicionais, mesmo em condições de baixa umidade, indicando que tais dispositivos não agem na refrigeração, mas sim no isolamento, diminuindo o fluxo de calor através do telhado (BARRIO, 1997; BASS et al., 2000; KOLB 2003; LAZZARIN; CASTELLOTTI; BUSATO, 2005).

Sob o ponto de vista do meio ambiente urbano, o telhado verde também é mencionado na literatura como agente na modificação do microclima e na redução de poluentes atmosféricos. Nesse último quesito, resultados indicam a remoção de cerca de 1.700 kg de poluentes em 20 ha de telhado verde (YANG; YU; GONG, 2008).

Além dos atributos acima mencionados, o telhado verde é apontado como estrutura hidrológicamente eficiente, por auxiliar na retenção hídrica e na diminuição do pico de vazão de onda de cheia, quando comparado ao telhado convencional. No entanto, conforme mencionam alguns autores, seu efeito sobre as vazões geradas por precipitações em áreas urbanas é dependente da estrutura do telhado, especificamente quanto ao tipo de substrato e sua profundidade, inclinação, tipo de vegetação, etc. (MORAN; HUNT; JENNINGS, 2004; MENTENS; RAES; HERMY, 2005; KÖHLER et al., 2001).

3.3. MATERIAL ALCALINAMENTE ATIVADO

Aliado ao telhado verde, solução de bom impacto citada anteriormente, decidiu-se associa-lo a utilização de um material ecologicamente amigável ao meio ambiente, material alcalinamente ativado, para a elaboração de uma solução ainda menos agressiva ao meio ambiente.

O Material Alcalinamente Ativado (MAA) é um material que necessita de baixas temperaturas para a sua obtenção, tem alta resistência mecânica, alta estabilidade térmica, é um material isolante e sendo também uma ótima barreira antichamas (PALOMO, 1999).

Desde o início de suas pesquisas, o MAA foi pensado como um material alternativo com a possibilidade de substituir o Cimento Portland (CP) e ser utilizado em tecnologias tradicionais de construção. É importante destacar que o CP é um aglomerante baseado, principalmente, em reações de hidratação de óxidos de cálcio, silício e alumínio, com a formação de fases cristalinas distintas e de uma cadeia amorfa de silicato de cálcio hidratado e

sua estrutura química é intrinsecamente diferente da dos MAA's que apresentam a formação de uma fase gel de aluminosilicato (DAVIDOVITS, 1991).

Embora atualmente exista uma literatura considerável sobre MAA's, referente à sua tecnologia e aplicações na construção, suas propriedades mecânicas e alta resistência ao fogo, imobilização de resíduos tóxicos e radioativos, entre outras propriedades (ALLAHVERDI e ŠKVÁRA, 2001a; ALLAHVERDI e ŠKVÁRA, 2001b; DAVIDOVITS, 1991; PALOMO e DE LA FUENTE, 2003; PALOMO et al., 1999b; VAN JAARSVELD et al., 2002), seus estudos estão baseados preferencialmente em alguns precursores tradicionais, tais como a argila calcinada metacaulinita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$), e os resíduos industriais cinzas volantes e escoria de alto forno. Isto se dá pela composição química destes materiais possuírem proporções de alumínio e silício favoráveis à formação de MAA e sua vasta disponibilidade no mercado e nas indústrias.

Apesar da grande variedade de nomenclatura referente aos MAA's, tais como: cimento ativado alcalinamente, cerâmica alcalina, geocimento, hidrocerâmica, etc., todos esses termos são empregados a materiais sintetizados utilizando processos químicos semelhantes, que podem ser descritos como um sistema complexo de reação de dissolução alcalina e precipitação numa reação aquosa de substrato.

Palomo et al. (1999) comenta que a ativação alcalina é um processo químico que permite transformar estruturas vítreas (parcialmente ou totalmente amorfa e/ou metaestável) em um compósito bem compactado e cimentante. O mecanismo de reação mostrado na Figura 09, apresentada abaixo, de forma altamente simplificada, os principais processos que ocorrem na síntese do MAA. Embora apresentado linearmente, estes processos são amplamente acoplados e ocorrem simultaneamente.

O mecanismo inclui uma etapa de dissolução inicial (I), onde a solução alcalina não só hidrolisa a superfície do mineral, mas também dissolve uma pequena quantidade de espécies Al e Si. Estas espécies dissolvidas (II) reagem com os íons silicato, já dissolvidos, e polimerizam por reações de condensação (III), formando um gel (IV) que é transformado na (V) estrutura final, seja por outra dissolução e outro processo de cristalização, ou por um mecanismo do estado sólido (VAN JAARSVELD e VAN DEVENTER, 1999b). O equilíbrio dentro destas soluções tem sido extensivamente estudado (SWADDLE et al., 1994; SWADDLE, 2001).

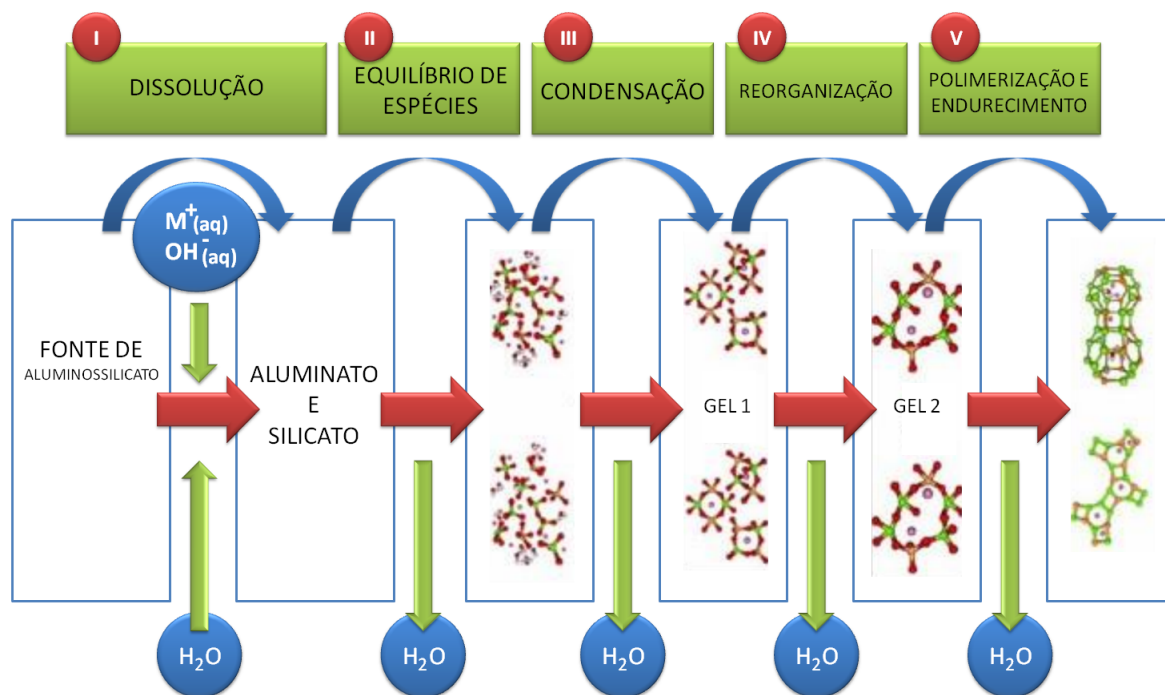


Figura 09. Modelo Conceitual para Síntese de MAA. Fonte: Adaptada de DUXTON et al. (2007).

Em síntese, no processo de ativação alcalina ocorrem reações exotérmicas de dissolução, durante as quais acontecem desarranjos das ligações de Si-O-Si e de Al-O-Al, em que íons (silício e alumínio) passam para uma solução. Os produtos gerados, decorrentes da destruição estrutural da matéria-prima, começam a acumular por um período de tempo (período de indução) em que o calor liberado é mínimo. Finalmente, há uma condensação da estrutura (passo fortemente exotérmico) que envolve o aparecimento de um material cimentante com uma estrutura mal ordenada, porém com alta resistência mecânica (PALOMO et al., 1999a). Portanto, de uma forma geral, a obtenção dos álcalis ativados dependerá da matéria-prima utilizada, da mineralogia, da morfologia, da granulometria, da composição química e do teor de sílica reativa das matérias-primas, do ativador e sua concentração, bem como do tratamento térmico ao qual às amostras serão submetidas.

3.4 LEGISLAÇÕES LOCAIS

A cidade de João Pessoa não é um bom exemplo de Cidade Sustentável, pois além de conter uma grande quantidade de automóveis e de não possuir uma coleta seletiva dos resíduos sólidos bem elaborada, encontramos poucas edificações que se enquadram no quadro

da sustentabilidade. Alguns edifícios residenciais da cidade possuem guaritas com coberturas vegetais, mas que não seguem às diretrizes de um telhado verde, pois recebem pouca ou nenhuma manutenção.

Aos poucos a questão da sustentabilidade em João Pessoa vem recebendo novos colaboradores, como pode ser observado no sítio da Câmara dos Deputados da cidade de João Pessoa. Pode-se constatar que entre os anos de 2009 e 2015, foram criados cinco Projetos de Lei (PL), listados abaixo, que favorecem e defendem o uso e a aplicação das coberturas verdes nas edificações. Deve-se atentar que até os dias atuais, nenhum desses projetos foi aceito e implantado como legislação na cidade.

PL 4887/2009

- **Autor:** Jorge Tadeu Mudalen - DEM/SP
- **Data da apresentação:** 24/03/2009
- **Ementa:** Dispõe sobre o desconto no pagamento anual de IPTU (Imposto Predial e Territorial Urbano) na adoção de telhados verdes em imóveis em cidades com população superior a quinhentos mil habitantes.
- **Situação:** Devolvida ao Autor

PL 7162/2010

- **Autor:** Jorge Tadeu Mudalen - DEM/SP
- **Data da apresentação:** 19/04/2010
- **Ementa:** Dispõe sobre a obrigatoriedade da instalação do "Telhado Verde" nos locais que especifica, e dá outras providências. **Explicação:** Concedendo benefício tributário aos condomínios edificados que utilizarem " Telhado Verde " - cobertura vegetação sobre laje de concreto ou cobertura, de modo a melhorar o aspecto paisagístico, diminuir a ilha de calor, absorver o escoamento superficial, reduzir a demanda de ar condicionado e melhorar o ...
- **Situação:** Devolvida ao Autor

PL 1703/2011

- **Autor:** Jorge Tadeu Mudalen - DEM/SP
- **Data da apresentação:** 29/06/2011
- **Ementa:** Dispõe sobre a instalação do denominado "Telhado Verde" e dá outras providências.
- **Situação:** Aguardando Designação de Relator na Comissão de Constituição e Justiça e de Cidadania (CCJC)

PL 1794/2015

- **Autor:** Veneziano Vital do Rêgo - PMDB/PB
- **Data da apresentação:** 02/06/2015
- **Ementa:** Altera a Lei 10.257, de 10 de julho de 2001, para incluir, entre o conteúdo mínimo do plano diretor, normas de verticalização e ocupação para redução de impactos ambientais por meio da instalação de coberturas vegetadas (telhados verdes) e reservatórios de águas pluviais em ...
- **Situação:** Aguardando Designação de Relator na Comissão de Constituição e Justiça e de Cidadania (CCJC)

PL 2186/2015

- **Autor:** Dulce Miranda - PMDB/TO
- **Data da apresentação:** 01/07/2015
- **Ementa:** Altera a Lei 10.257, de 10 de julho de 2001, para incluir, no conteúdo mínimo do plano diretor, normas gerais de edificação que regulamentem a obrigatoriedade da instalação de cobertura vegetada ("telhado verde") e reservatório de águas pluviais em edifícios.
- **Situação:** Tramitando em Conjunto

Um outro exemplo está em dois Projetos de Lei Ordinária de um vereador da cidade, no qual podemos encontrar mais propostas favoráveis à construção de telhados verdes no município. Um dos Projetos, dispõe da obrigatoriedade da instalação de Telhado verde ou ecotelhado em condomínios edificadas (PLO 39/2013) ver Anexo 02.

Art. 1º Os projetos de condomínios edificadas, residenciais ou não, com mais de 10 (dez) unidades agrupadas verticalmente, protocolizados na Prefeitura para aprovação a partir da data de promulgação da presente lei, deverão prever a construção do “Telhado Verde” ou “Ecotelhado”.

§ 1º - Para os fins desta Lei, “Telhado Verde” é uma cobertura de vegetação arquitetada sobre laje de concreto ou cobertura, de modo a melhorar o aspecto paisagístico, diminuir a ilha de calor, absorver o escoamento superficial, reduzir a demanda de ar condicionado e melhorar o microclima com a transformação do dióxido de carbono (CO²) em oxigênio (O²) pela fotossíntese.

João Pessoa foi a primeira de 05 (cinco) cidades do Brasil a ser contemplada com o Programa Cidades Emergentes e Sustentáveis (ICES) do Banco Interamericano do desenvolvimento (BID), no ano de 2013. Para garantir o desenvolvimento sustentável do município, o projeto assiste a cidade técnica e financeiramente. Foram três critérios escolhidos para a seleção das cidades: crescimento econômico, contingente populacional e capacidade institucional.

É notório o crescimento da cidade de João Pessoa, todos os dias, novas construções são iniciadas e novos projetos são aprovados na prefeitura, o que é uma questão positiva para o município até certo ponto. A vasta quantidade de edifícios tem tomado conta da vegetação da cidade. As novas vias têm diminuído a área verde e permeável do município, causando alagamentos em avenidas e bairros da cidade. O ar de João Pessoa ainda é referência como o mais limpo do país, mas rapidamente essa classificação pode transmutar-se se a população aumentar e o governo não tomar as providências necessárias para que isso não aconteça. Como citado anteriormente, o telhado verde ajuda na purificação desse ar e principalmente como recurso na absorção das águas pluviais.

Ainda se espera a aprovação de Projetos de Leis que favoreçam a aplicação de tecnologias mais sustentáveis nas edificações da cidade. No ano de 2013, foi realizado no Brasil a IV Conferência Nacional do Meio Ambiente (CNMA), realizada em todas as cidades e municípios do país. Essa conferência, visou a discussão em torno da Política nacional dos Resíduos sólidos (PNRS) englobando o tema da sustentabilidade. A CNMA disponibilizou de quatro eixos temáticos, sendo eles: Produção e Consumo Sustentáveis; Impactos Ambientais; Geração de Emprego, Trabalho e Renda; Educação Ambiental. Dentro desses eixos, o telhado verde pode ser discutido no tema de Impacto Ambiental, que visou a redução de resíduos sólidos produzidos pelas indústrias, isso inclui a indústria da construção civil.

3.5. PROJETOS CORRELATOS (Aplicação do telhado verde)

3.5.1 CASA ECOLÓGICA, JOÃO PESSOA

Projetada e construída para ser uma casa sustentável, a Casa Ecológica, pertence a uma professora do Instituto Federal da Paraíba (IFPB) e foi edificada no Bairro do Altiplano na

Cidade de João Pessoa no ano de 2012. A residência recebe a classificação de Casa Ecológica por ter sido totalmente projetada com princípios da sustentabilidade, tendo um planta baixa com divisórias internas favorecendo a economia de energia e o favorecimento do uso de seus ambientes de maneira mais econômicas, como por exemplo: o banheiro social foi projetado para ser utilizado por três pessoas ao mesmo tempo, sem que uma interfira no trabalho da outra, assim como o banheiro da suíte principal que já contém dentro de suas dependências os equipamentos para a lavagem de roupa suja, o que trás uma economia de tempo para o usuário.

A residência foi projetada para ser sustentável em todos os aspectos possíveis, diante da realidade da cidade, ela contém um sistema de esgoto próprio adaptada para o reaproveitamento da água suja, que passa por um sistema de tratamento e é utilizado para a rega de algumas vegetações (Figura 10). A estrutura do telhado e de algumas partes da residência foi construída em madeira Massaranduba, visando a renovação desse recurso natural e o baixo consumo de energia para a obtenção.

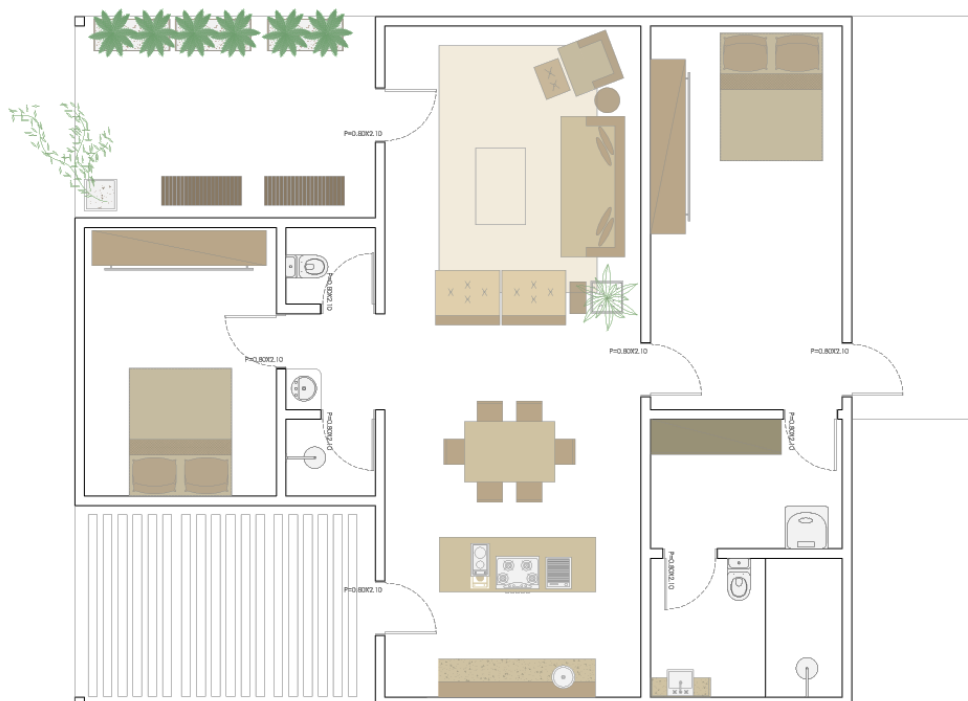


Figura 10. Planta Baixa esquemática da Casa Ecológica. Fonte: autor (2018)

A sala de televisão é integrada com a sala de estar e com a cozinha, acomodadas em uma área retangular, rodeadas de janelas, para melhorar a circulação natural da ventilação. Os

móveis foram encomendados a marceneiro local projetados em madeira de lei, visando a renovação desse material na natureza e favorecendo a economia local.

A estrutura da cobertura da casa, foi completamente calculada e construída em Madeira Massaranduba e Ipê (Figura 11), desde as peças estruturais até o forro, que foi implantado com uma distância de 20 cm do final das paredes, criando um espaço para a circulação da ventilação natural. A construção do telhado verde, durou 5 dias, devido a grande quantidade de substrato que deveria ser alocado sob da laje. As fases de construção foram idênticas as citadas no ponto 3.2.1, com algumas pequenas mudanças nos materiais utilizados.

A Figura 12 apresenta um corte esquemático do telhado com foco nos canos de PVC utilizados para a drenagem das águas pluviais.



Figura 11. (a) Estrutura em madeira (b) Área externa da residência. Fonte: Autor (2014).

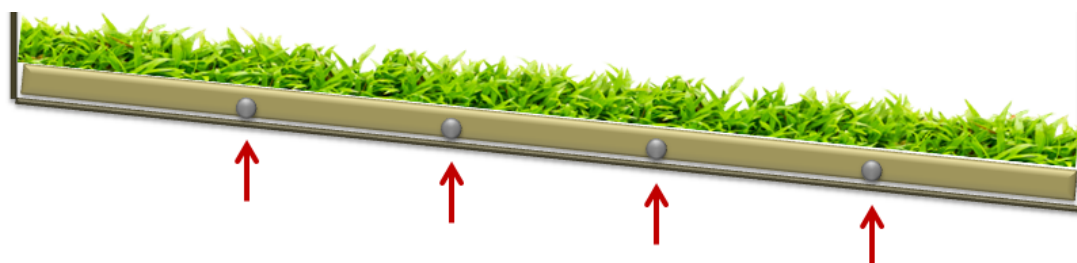


Figura 12. Corte esquemático do telhado, com foco nos canos de PVC. Fonte: Autor (2018)

Após a finalização da cobertura, foi realizada uma aplicação de betume (Figura 13), uma mistura de hidrocarbonetos com outros compostos oxigenados, sobre cada cravo metálico da estrutura que ficaria voltado para o telhado verde, para evitar que, devido a mudanças de temperatura e a alta umidade que a madeira seria exposta, os pregos não se deslocassem para cima, perfurando a manta impermeabilizadora. Pode-se observar na Figura

13b a existência de canos de PVC no sentido transversal da coberta, aplicado para conter o substrato durante o escoamento da água, pois, devido a inclinação do telhado, o substrato poderia deslizar juntamente com a água e se concentrar na parte mais baixa da coberta.



Figura 13. (a) e (b) Aplicação do Betume. Fonte: Autor (2013).

A camada seguinte que veio a ser aplicada chama-se de Manta geotextil, também conhecida como manta anti-raiz, uma camada protetora, aplicada para resguardar a manta impermeabilizadora de qualquer outro agente que pudesse danificá-la. Na Figura 14 pode-se observar a manta de cor preta sendo aplicada e na cor rosa uma manta de TNT para evitar possíveis danos à manta no momento da construção do telhado.



Figura 14. (a) e (b). Aplicação da Manta Geotextil. Fonte: Autor (2013).

A próxima etapa foi realizada com a aplicação da manta asfáltica também conhecida como manta impermeabilizadora, utilizada em áreas úmidas e coberturas. Essa manta, é

regulamentada pela NBR 9952, apresentando algumas variações com relação a espessura, absorção e flexibilidade e deve ser escolhida de acordo com a especificação do projeto. A manta aplicada na cobertura da residência, necessitou ser afixada uma a outra visto que suas dimensões não cobriam o telhado por inteiro (Figura 15). Essa fixação foi realizada com extrema cautela, já que qualquer orifício poderia acarretar em uma possível infiltração.



Figura 15. (a) e (b). Aplicação da manta asfáltica. Fonte: Autor (2013).

O passo seguinte, foi a aplicação do substrato com uma altura de 15 cm, uma combinação de resto de poda, para enriquecer o substrato e ajudar a diminuir a geração de resíduos, areia preta, terra considerada muito fértil e a vermiculita, um mineral muito utilizado na construção civil e na agricultura, devido a sua capacidade de conter nutrientes (Figura 16).



Figura 16. (a) e (b). Aplicação do substrato. Fonte: Autor (2013).

Após a finalização, o telhado ganhou um desenho paisagístico de acordo com as preferências da proprietária da residência, que foi executado com vegetações locais, de muita resistência e que se desenvolviam em diversos tipos de solo, é formada por plantas

ornamentais de fácil adaptação ao solo e ao clima, além de plantas que nasceram espontaneamente decorrente da riqueza do solo (Figura 18). Foram utilizados resíduos de madeira da própria construção para a criação do passeio, local destinado para a movimentação do usuário (Figura 17).



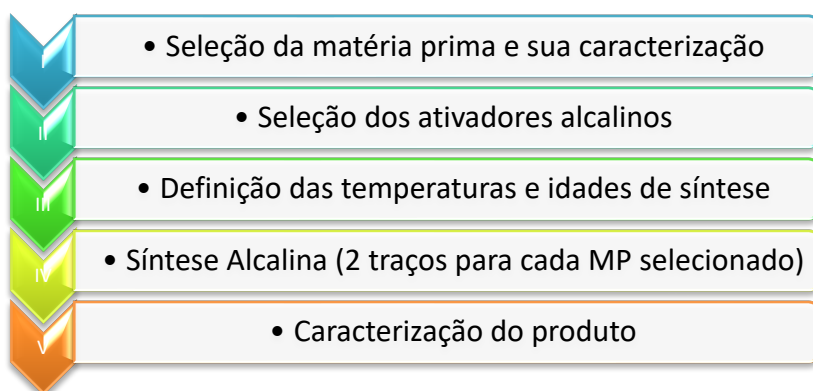
Figura 17. (a) Telhado Finalizado, (b) Desenho paisagístico. Fonte: Autor (2013).



Figura 18. Telhado verde da casa ecológica 1 ano após a construção. Fonte: Autor (2014).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Visando atender os objetivos de pesquisa, foi estabelecido o programa experimental a seguir:



A pesquisa foi desenvolvida em volta de um bloco pré-moldado de telhado verde feito com Material Alcalinamente Ativado (MAA). Devido às características do MAA e sua relação com o material precursor, decidiu-se utilizar metacaulinita e solo intemperizado, como material precursor, para a elaboração do bloco pré-moldado. A escolha desses materiais precursores se deu em função dos resultados das propriedades mecânicas obtidas para MAA's a base desse precursor em outros estudos realizados na UFPB (GOMES, 2008). Foram avaliados ainda o efeito do ativador alcalino na síntese dos MAA's produzidos. Com relação ao material precursor, o tipo de ativador e a temperatura, foi realizado o plano experimental apresentado na Figura 19.

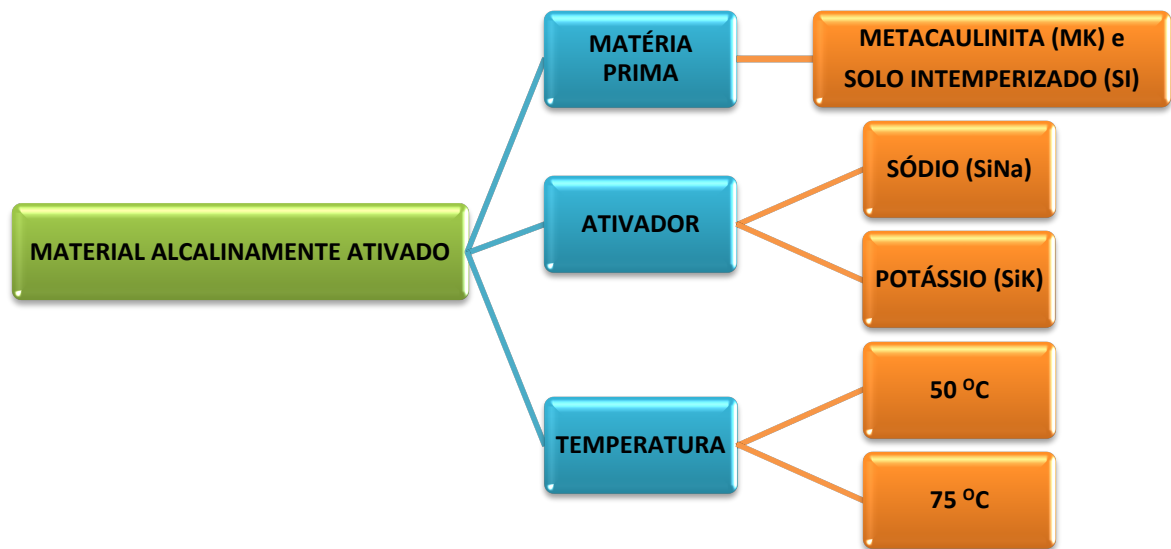


Figura 19. Fluxograma da seleção de materiais e as condições de ensaio. Fonte: Autor (2018)

A escolha dos ativadores se deu pela resistência mecânica do sódio e da estabilidade térmica do potássio. Inicialmente, foram realizados um estudo do traço (T1 e T2) a ser utilizado na obtenção dos blocos pré-moldados. Foram confeccionados, inicialmente, blocos de 40 x 40 x 160 mm para os testes, de MAA a base de metacaulinita e silicato de sódio (ativador alcalino), onde foram submetidos a temperaturas de 50 °C e 75 °C (temperaturas recomendadas na literatura para síntese alcalina) em diferentes idades (1 e 7 dias), sendo avaliados sua propriedade mecânica em termos de resistência a compressão e flexão, sua estabilidade térmica, e suas propriedades físicas em termos de permeabilidade/absorção.

Dessa forma, foi obtido o traço adequado a ser empregado para o desenvolvimento do Planejamento Experimental a ser seguido para o restante da pesquisa e apresentado na Figura 20.

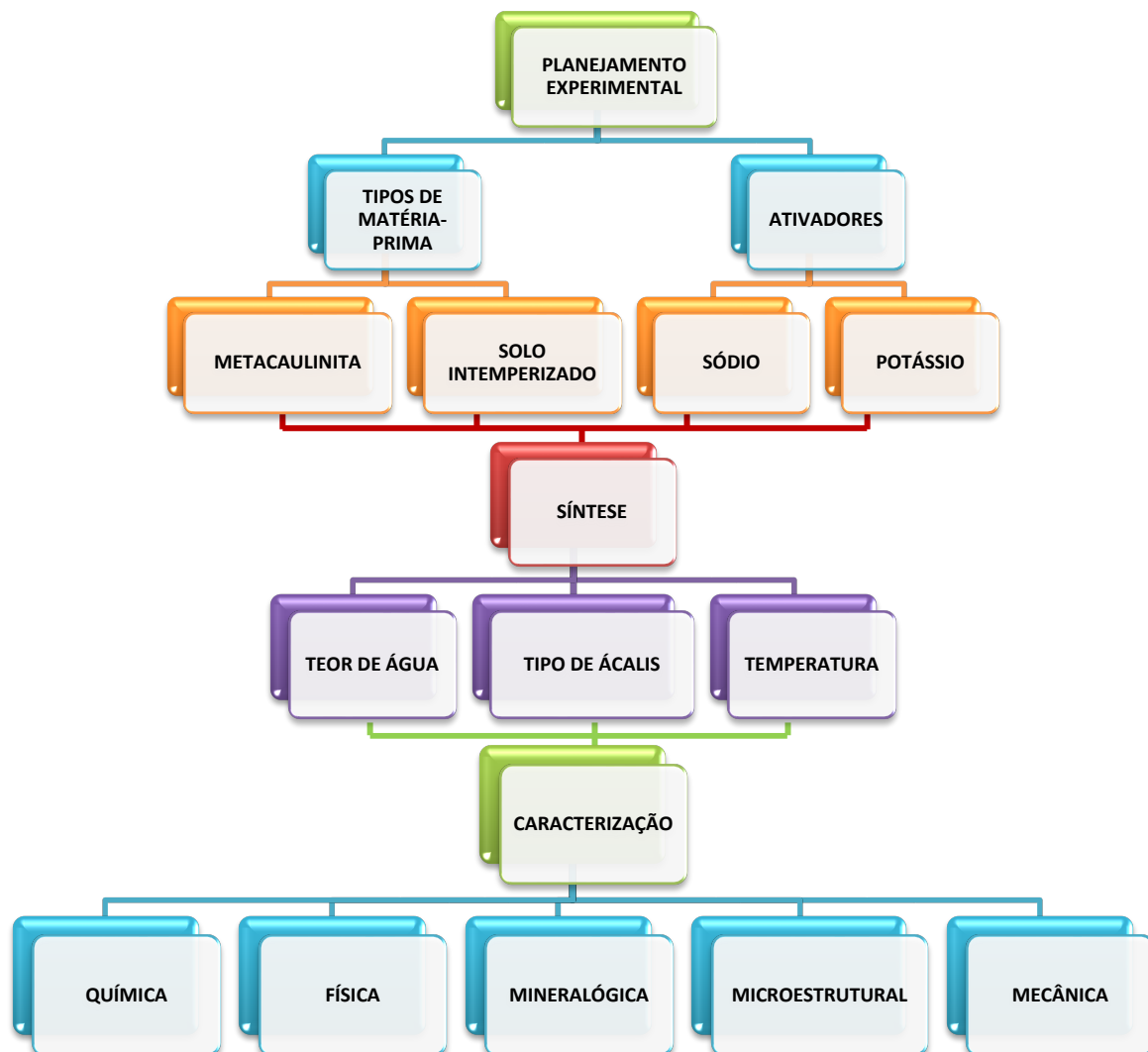


Figura 20. Fluxograma Geral. Fonte: Autor (2018).

4.1 CARACTERIZAÇÕES

Quanto a caracterização (da matéria-prima e do produto), as amostras foram avaliadas em termos físicos, químicos, mineralógicos, microestruturais e mecânicos. Desta forma, as caracterizações foram realizadas de acordo com o Planejamento apresentado na Figura 21.



Figura 21. Caracterizações a serem empregadas no Material Precursor do MAA e nos Blocos pré-moldados fabricados. Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

A caracterização física com relação a absorção de água, é normatizada pela NBR 9778, que determina o índice de absorção de água por meio de imersão. As amostras passam por um processo de secagem dentro de uma estufa expostos a uma temperatura de 100 °C. Seguidamente, após o processo de secagem percorrendo o processo indicado na NBR, as amostras são imersas em água em temperatura ambiente. São 72 h percorridas no processo de absorção, fracionadas em 3 partes, nas primeiras 24 h são realizadas 3 pesagens com as amostras imersas em 1/3 de água, nas 48 h seguintes, as amostras imersas por completo dentro da água onde são realizadas mais 2 pesagens. Caso a diferença entre as cargas, exceda 0,5%, a amostra deverá permanecer mais 24 h imersas em água.

Para a análise da composição química das amostras, utilizou-se um Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X, modelo XRF 1800 da Shimadzu, onde a amostra foi irradiada por um feixe de raio gerando outro raio característico de cada elemento, esses raios são chamados de fluorescentes, e são decorrentes do comprimento de onda e da energia específica. As

análises, quanto a composição química, podem ser feitas qualitativa e quantitativamente fundamentadas na NBR 12653. Através da Fluorescência, obteve-se os percentuais de SiO_2 , Na_2O e Al_2O_3 entre outros elementos com menor volume. A análise foi realizada no Laboratório de Solidificações Rápida da UFPB.

A caracterização mineralógica foi realizada utilizando um Difrátometro D2 Phaser da Bruker, operando com radiação $K\alpha$ de cobre, 30kv e 10 mA, com varredura de 2θ entre 5° e 60° com passo de $0,02^\circ/\text{s}$ e fenda de 1mm. O ensaio foi realizado no Laboratório de Tecnologia de Novos Materiais do TECNOM/UFPB com o objetivo de avaliar as modificações das fases cristalinas oriundas de sínteses e tratamentos térmicos diferentes.

As análises de transmissão na região do infravermelho foram realizadas em um espectrofotômetro de infravermelho da Prestige da Shimadzu. As amostras foram misturadas com brometo de potássio (KBr) na concentração de 2% e prensadas para a obtenção das pastilhas. Este procedimento foi utilizado para verificar a transformação do estado de coordenação do alumínio de VI para IV, condição necessária à reação de ativação alcalina.

A microscopia ótica foi realizada em um Microscópio Zeiss com color view– soft imaging system, utilizado-se o programa Analysis System.

Os ensaios de resistência a flexão, foram realizados nos laboratórios da UFPB na Máquina Universal de Ensaio de 10kN da Shimadzu, com velocidade de 50N/seg. Foram utilizadas amostras prismáticas com dimensões de 16 x 4 x 4 cm (largura x altura x profundidade) onde foram descobertos os valores de: máxima força; máxima tensão; máximo deslocamento máxima deformação, suportados por cada amostra.

Já os testes de resistência a compressão simples, foram realizados no LABEME - UFPB, onde pode-se ser obtido os valores da resistência em Kg de cada amostra prismática com dimensões de 16 x 4 x 4 cm (largura x altura x profundidade).

5. RESULTADOS INICIAIS E DISCUSSÃO

5.1 DEFINIÇÃO DO BLOCO

A coberta de uma edificação ainda é a área menos aproveitada de uma construção, e se enquadra na que mais sofre com as intempéries. Para tanto, com a aplicação do Telhado Verde na cobertura, consegue-se o aproveitamento dessa área e melhorias em algumas funções para a edificação.

Com o presente estudo, esperou-se tornar essa prática de baixo impacto ambiental mais benéfica e mais acessível à população. Sua utilização consiste numa aplicação da cobertura em blocos pré-fabricados com MAA e de fácil aplicação numa edificação. Através de seu emprego espera-se a diminuição da temperatura no ambiente e, consequentemente, a não utilização de ventilação artificial; o aumento do bioma ao redor da edificação, melhora no isolamento acústico, além de aumentar a área permeável da edificação.

O bloco a ser empregado nesta pesquisa tem como forma um prisma, com 40 cm de largura, 40 cm profundidade e 15 cm de altura. Sua espessura lateral e de base é de 3 cm, apropriadas para receber um substrato de 10 cm de altura, assim como mostra a figura abaixo:

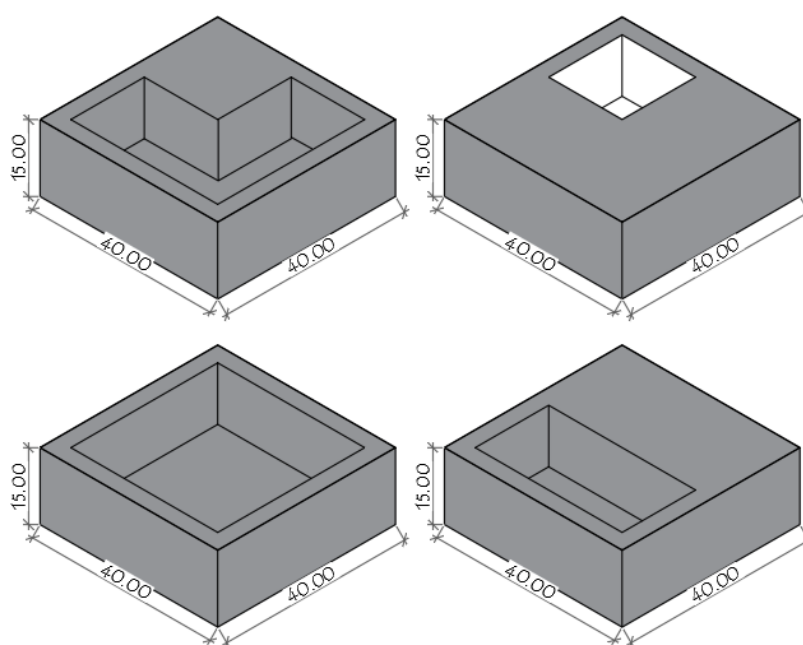


Figura 22. Tipologias dos Blocos pré-moldados a serem empregados na pesquisa. Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

Os blocos tiveram 4 tipologias distintas para atender aos mais diversos desenhos de piso esperados (Figura 23) e juntos, formarem uma cobertura que possibilite o cultivo de vegetação e a contemplação das mesmas por seus usuários. Dessa forma, obtêm-se uma nova área útil na edificação, anulando a cobertura tradicional, que geralmente é inutilizada e tida como área morta. O formato do bloco prismático, foi escolhido por ser de mais fácil aplicação

e adaptação a qualquer tipologia de cobertura das edificações. A Figura 23, apresenta a proposta de um telhado com aplicação dos blocos pré-moldados de telhado verde, juntamente com o piso para usuários.

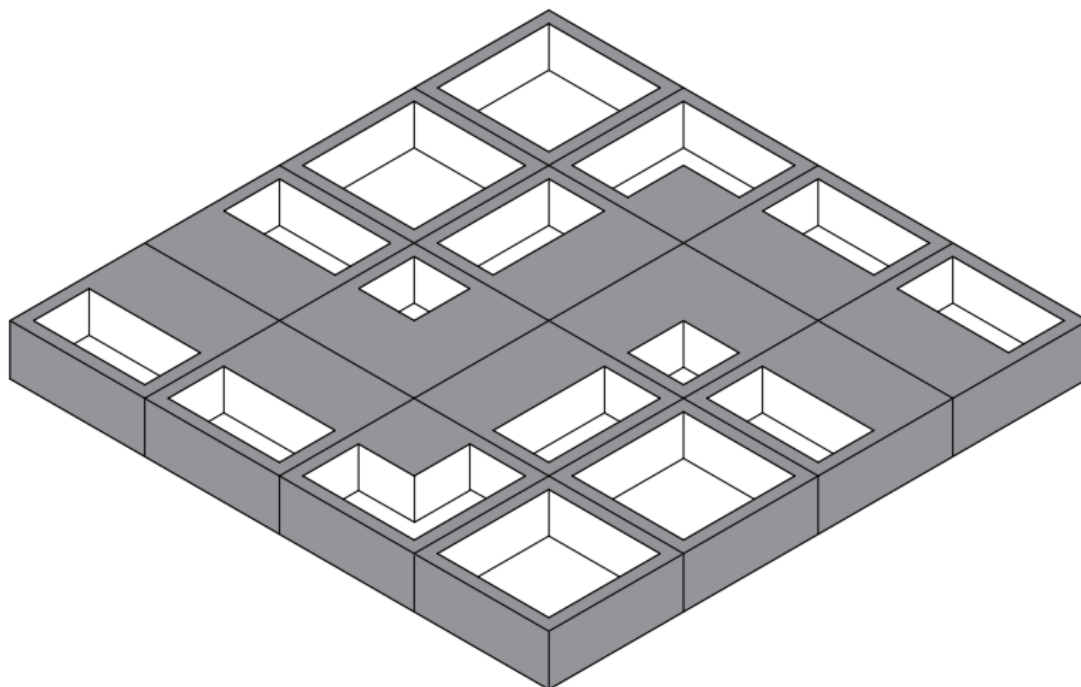
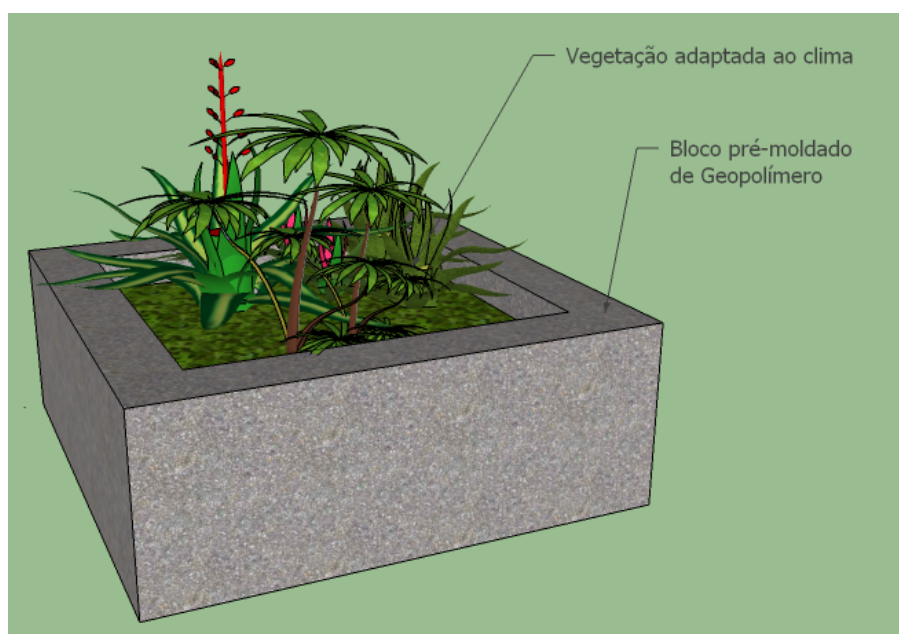


Figura 23. Esquema de um telhado verde com o bloco pré-moldado de Material Alcalinamente Ativado. Fonte: Elaborado pelo autor (2018).



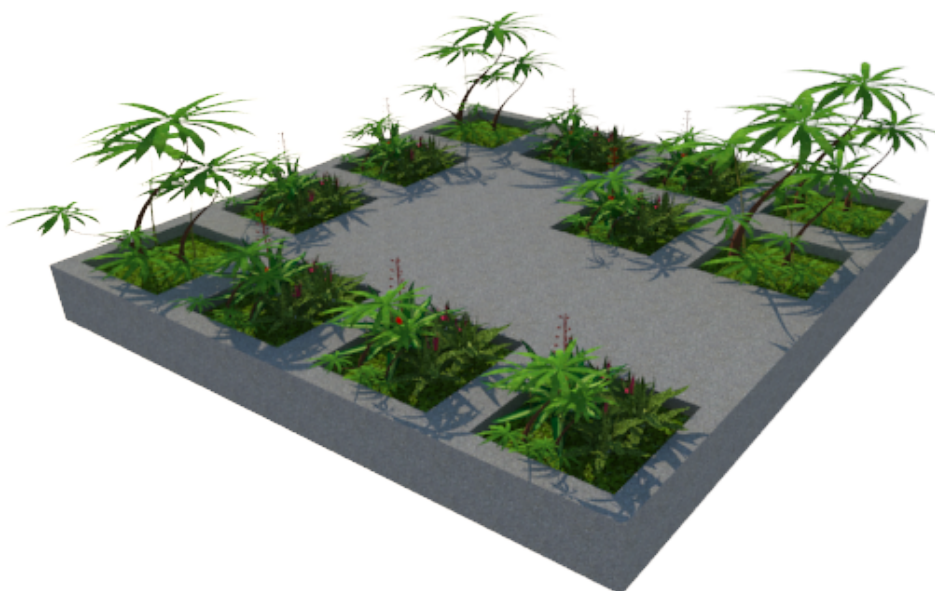


Figura 24. (a) Protótipo do bloco e (b) aplicação. Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

A Figura 23, retrata uma possível locação dos blocos pré-moldados de telhado verde, podendo ser aplicados às coberturas com lajes impermeabilizadas e com inclinações determinadas para o melhor funcionamento do escoamento das águas da chuva, já que o bloco não contém inclinação interna própria (Figura 24).

5.2 CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL PRECURSOR COM ESCOLHA DA MATERIA A SER UTILIZADA NA PRODUÇÃO

5.2.1 FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X

A Tabela 01, apresenta a composição química das matérias primas utilizadas para a produção dos blocos de MMA.

Tabela 01. Composição Química das Matérias-Primas Precursoras do MAA

Amostra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Outros
MK	64,80	29,74	1,72	0,01	3,23	0,12	0,03	0,35
SI	35,58	6,09	56,67	0,19	0,03	0,06	0,81	0,57

Como material pozolânico, a composição química dos materiais indica que os mesmos atendem aos limites para uso com esta finalidade, de acordo com a norma NBR 12653 uma vez que a soma dos compostos $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ variam entre 96% e 98% e, conseqüentemente, são superiores ao mínimo de 70%, preconizado em norma.

Com relação ao uso na síntese de MAA, pode-se observar que, embora todos os precursores estudados sejam fontes representativas de aluminossilicatos, o teor de sílica e alumina varia significativamente de acordo com o tipo de precursor, o que afetará o desempenho dos produtos finais (GOMES, 2008)

5.2.2 DIFRAÇÃO DE RAIOS-X

A Figura 25, apresenta o difratograma das matérias-primas utilizadas na pesquisa, representam a matéria-prima de solo intemperizado (SI) e metacaulinita (MK).

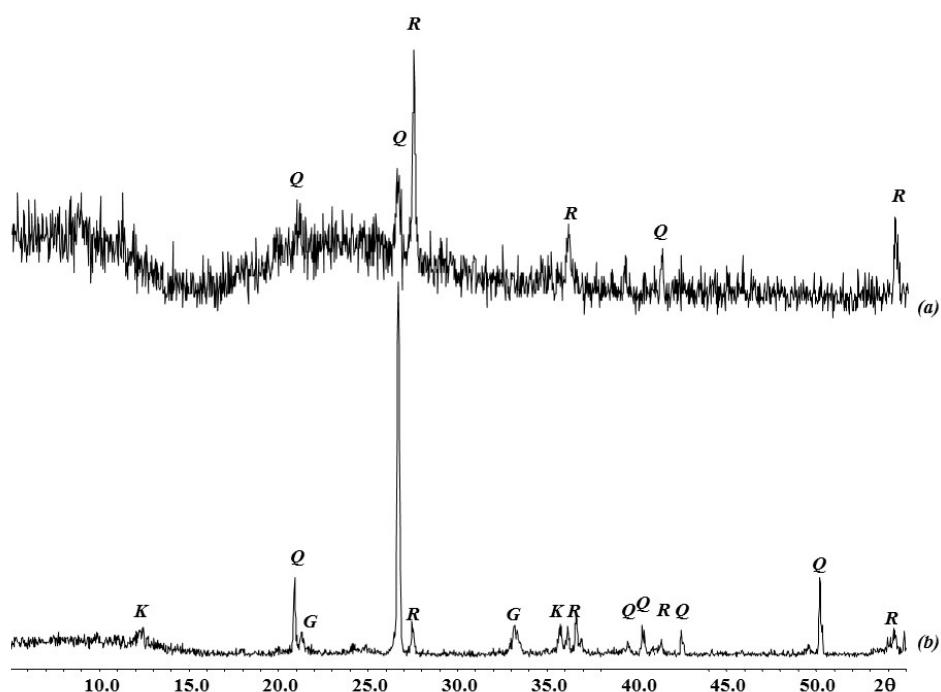


Figura 25. Difratogramas dos precursores utilizados na pesquisa. (a) MK e (b) SI. (Q) Quartzo, K (Caulinita), G (Goetita) e R (Rutilo utilizado como referência).

Pode-se observar pela Figura 25 que o solo intemperizado é constituído de goetita e quartzo, além da caulinita residual. Pode-se observar, ainda, que comparado a matéria-prima

MK, o Solo Intemperizado apresenta-se mais cristalina que o argilomineral Metacaulinita. Isto pode ser observado pela maior presença de fases cristalinas, bem como pela menor presença do halo característicos de materiais amorfos (20° e 30°).

Já a matéria prima à base de MK é constituído basicamente de quartzo. O Rutilo (R) foi utilizado como material de referência para auxiliar na identificação dos demais picos cristalinos.

5.2.3 ESPECTROSCOPIA NA REGIÃO DO INFRAVERMELHO

A Figura 26 apresenta o espectro de infravermelho obtidos para as matérias-primas precursoras do MAA.

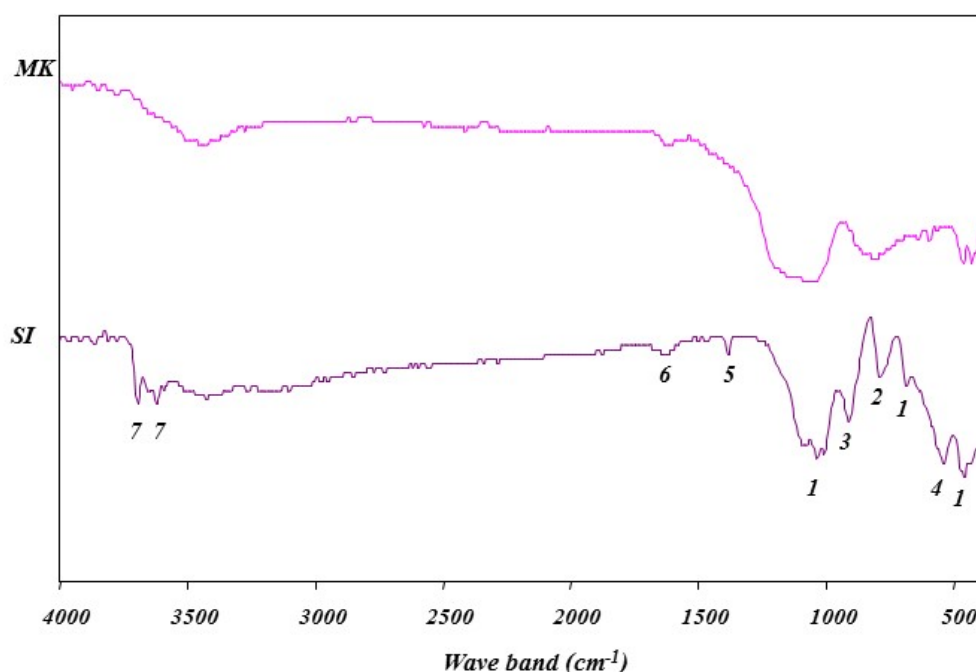


Figura 26. Espectro de Infravermelho das Matérias-Primas Precursoras utilizadas na pesquisa.

Como pode ser observado pela Figura 26, as bandas que aparecem em torno de 3695 e 3620 cm^{-1} (7) são atribuídas ao modo de deformação axial assimétrica e simétrica das hidroxilas ligadas ao *Al* da caulinita, mineral precursor da metacaulinita, e da água livre, e são claramente evidentes na amostra SI e tenderam a serem menos intensa, ou praticamente inexistente, na amostra MK que é uma argila calcinada (VAN DER MAREL, 1976). Isto corrobora os resultados obtidos na Difração de Raios X, com a presença da Caulinita apenas na amostra SI.

As bandas entre 1450 cm^{-1} (5) e 450 cm^{-1} (1), refere-se às ligações T-O-Si (T=Si ou Al) perderam a sua definição de pico e passaram a ter uma ocorrência mais difusa ou desapareceram quando comparados as amostras MK (calcinação) e SI (In natura). Pode-se também observar que as ligações do tipo Si-OH desapareceram com a calcinação. Isto pode estar relacionado com o processo de amorfização do argilomineral.

As bandas em torno de 850 cm^{-1} (2) referente à presença de Al octaedro, identificados mais facilmente nas amostras in natura (SI), diminuem na amostra calcinada (MK).

5.2.4 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO SIMPLES

A Figura 27 apresenta os resultados de Resistência a Compressão Simples para as pastas de MAA a base de MK e SI, sintetizados com silicato de sódio a 50 e 75 °C.

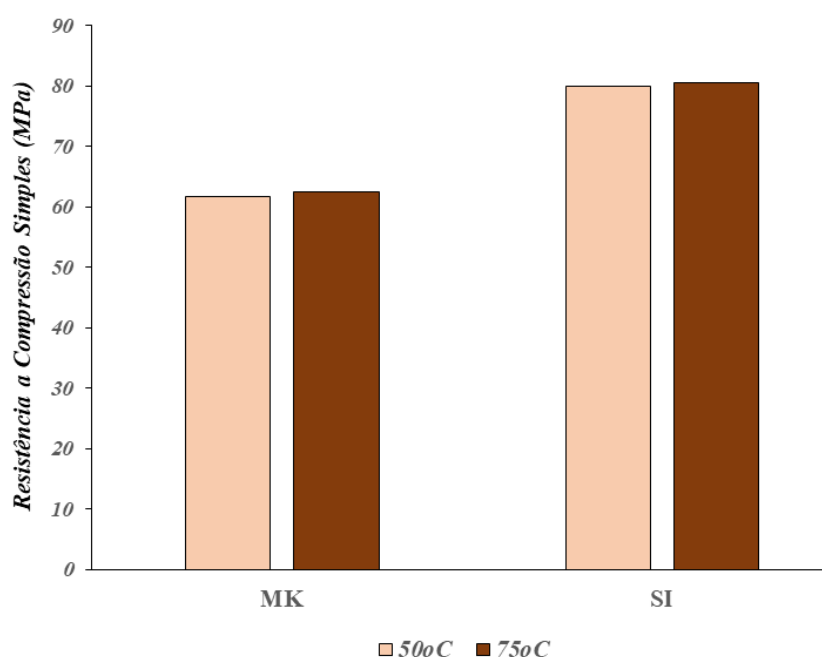


Figura 27. Resistência a Compressão Simples aos 07 (sete) dias das Pastas de MAA a base de MK+Silicato de Sódio e SI+Silicato de Sódio, nas mesmas condições de Síntese.

Como pode ser observado, não houve grandes alterações nos resultados de resistências a compressão simples dos materiais em função da alteração das temperaturas aos quais as pastas de MAA foram submetidas.

Em função de toda a caracterização realizada para as matérias primas, observou-se que a Metacaulinita apresentou maiores teores de SiO_2 e Al_2O_3 (Seção 5.2.1), bem como maior reatividade quando comparadas ao SI (Seção 5.2.2 e 5.2.3). Além disto, a MK apresentou

valores de resistências acima do que o esperado para a utilização em blocos pré-moldados, isso favorece a ativação alcalina.

Apesar destes parâmetros, a metacaulinita apresenta uma homogeneidade reconhecida e uniformidade de área superficial, o que favorecem o conhecimento do mecanismo de reação durante a síntese alcalina. Desta forma, foi selecionada a MK para dar continuidade ao planejamento experimental.

5.3 PREPARAÇÃO DAS BARRAS PRISMÁTICAS

5.3.1 DEFINIÇÃO DO TRAÇO

Para a presente pesquisa, foi utilizado um traço (em kg) de 1: 1,44: 4,17 (metacaulinita:solução alcalina:areia) com fator água/metacaulinita de 0,29. Esse traço foi utilizado em função das propriedades desejadas para o emprego do material (bloco), bem como em função de resultados obtidos por Gomes (2008) durante suas pesquisas visando aplicações de MAA a base de metacaulinita.

5.3.2 PREPARAÇÃO DAS BARRAS

De acordo com a escolha do material precursor e dos ativadores definidos, foi feita a preparação dos traços para a produção de 6 barras prismáticas. Os estudos foram realizados no Laboratório de Materiais do Instituto Paraibano de Educação, UNIPÊ, e tiveram duração de 20 dias. Foram utilizados os seguintes instrumentos: Balança de precisão, liquidificador industrial e argamassadeira, como mostra a Figura 28.

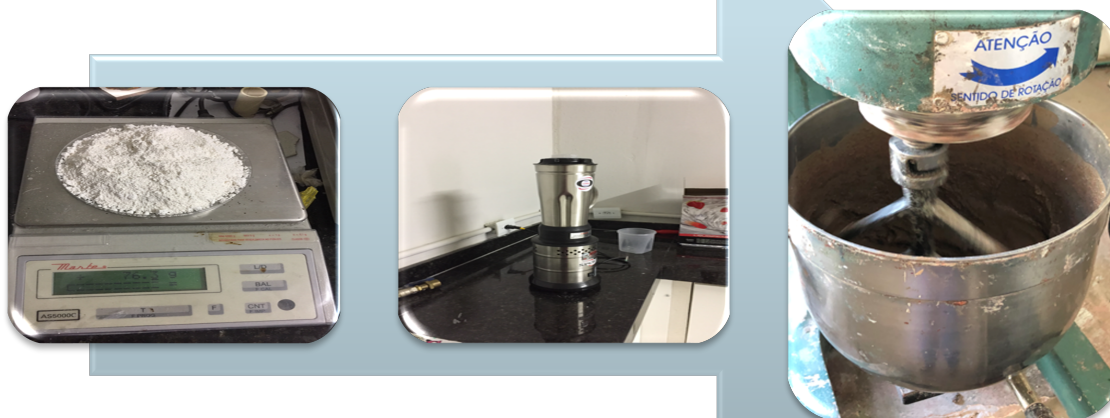


Figura 28. (a), (b) e (c). Instrumentos utilizados para a preparação do traço. Fonte: Autor (2018).

Foram moldados 6 corpos de prova (barras prismáticas) para cada tipo síntese, em uma fôrma confeccionada em madeira naval e revestida com acetato, para que as barras não se agregassem junto as laterais da fôrma. A Figura 29, apresenta o processo de moldagem das barras prismáticas.

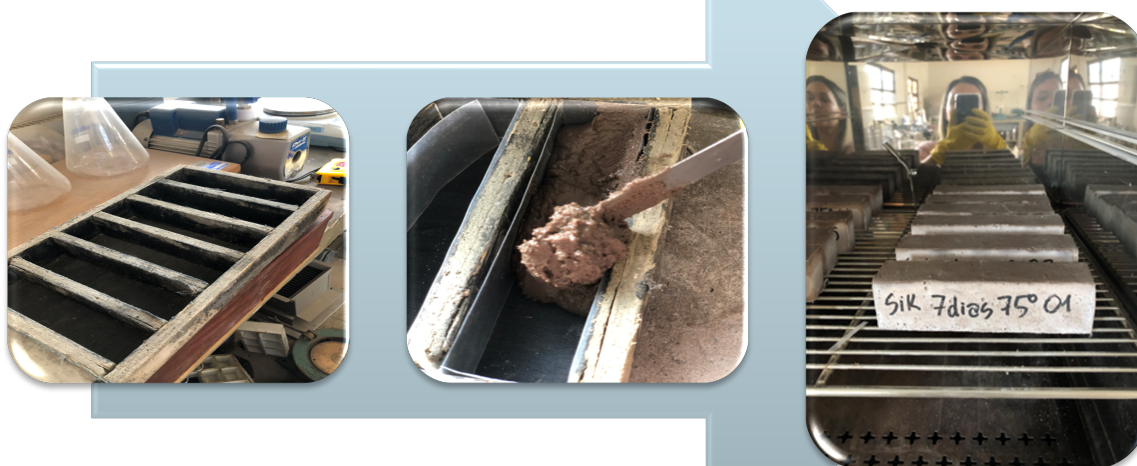


Figura 29. (a), (b) e (c). Forma de madeira naval, colocação do traço em forma e armazenamento das barras em temperatura de estudo. Fonte: Autor (2018).

Após 24 horas os Corpos de Prova (CP) foram desmoldados e as barras foram identificadas (numeradas) e devolvidas à temperatura de estudo (50 e 75°C) pelo período de análise (1 e 7 dias). Ao final da realização do processo de cura, as 48 barras (no seu devido tempo de análise) foram retiradas da estufa e embaladas em plástico, para que tivessem o menor contato possível com o ar em temperatura ambiente, e submetidas aos respectivos ensaios (Figura 30).



Figura 30. Armazenamento das barras enquanto aguardavam as próximas etapas de ensaios. Fonte: Autor (2018).

5.4 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS PRODUZIDOS

5.4.1 ABSORÇÃO

Os ensaios de absorção, foram realizados no Laboratório de Materiais do Instituto Paraibano de Educação - UNIPE, onde 24 (vinte e quatro) barras prismáticas com 8 tipologias ficaram imersas em água por 72h.

Foram realizadas 9 pesagens ao total, sendo 4 com peso seco, e 5 após a imersão em água. A pesagem inicial foi realizada com as barras em temperatura ambiente, registrando seu peso inicial para que se iniciasse o processo, onde as mesmas foram inseridas em uma estufa com temperatura de 100 °C de acordo com a NBR 9778. Após 24 h, 48 h e 72 h da primeira pesagem, foram realizadas outras três pesagens, registrando uma diferença menor que 0,5% entre elas, o que possibilitou seguir com o processo.

Após a secagem das barras prismáticas, deu-se início aos testes de absorção de acordo com a NBR 9778/1987, o qual indica a imersão das barras prismáticas em água até 1/3 de seu volume com pesagens de 4 h, 8 h e 12 h depois de imersas. Outras pesagens a 24 h, 48 h e 72h foram realizadas, indicando uma diferença menor que 0,5% entre elas, possibilitando a finalização dos testes de absorção. Em seguida, foram elaborados os resultados de acordo com a NBR 9778/1987, para a obtenção das porcentagens de absorção de cada amostra e elaboração dos resultados obtidos.

Tabela 02. Resultados De Absorção dos MAA produzidos

Produto	Absorção (%)
SiNa.50.1dia	8,65
SiNa.50.7dias	9,50
SiNa.75.1dia	9,54
SiNa.75.7dias	9,64
SiK.50.1dia	14,05
SiK.50.7dias	14,61
SiK.75.1dia	14,73
SiK.75.7dias	14,81

Pode-se observar pela Tabela 2 que os materiais alcalinamente ativados oriundos do ativador silicato de sódio apresentaram menores valores de absorção e quando comparados ao ativado com silicato de potássio. Isto pode ter ocorrido em função da polimerização do material a base de potássio, visto que o mesmo apresenta maior raio iônico e menor energia de ionização quando comparado ao sódio. Isto favorece uma polimerização diferenciada e possibilita a formação de uma matriz mais porosa.

5.4.2 FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X

A Figura 31 apresenta as preparações das amostras para posterior caracterização química.



Figura 31. (a) Maceração das amostras das barras prismáticas (b) separação do material (Fonte: Autor, 2018)

A análise foi realizada na UFPB, no Laboratório de Solidificações Rápida, onde pode ser obtido a composição química dos MAA's produzidos na pesquisa, conforme podem ser observados na Tabela 03.

Tabela 03. Composição Química das Matérias-Primas Precursoras do MAA (Fonte: Autor, 2018)

Amostra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Outros
SiNa.50.1dia	70,0039	10,7155	1,6067	15,0842	0,2413	0,0208	1,6908	0,6368
SiNa.50.7dias	57,5563	13,8732	2,0045	22,9668	0,2684	0,4356	2,0133	0,8819
SiNa.75.1dia	72,9608	7,7501	1,3633	15,8170	0,2000	0,1229	1,3974	0,3885
SiNa.75.7dias	56,1947	16,6041	2,0354	21,7641	0,2727	0,2392	1,8995	0,9903
SiK.50.1dia	65,0631	19,1918	1,8917	8,5423	2,3548	0,0276	2,0485	0,8802
SiK.50.7dias	60,4425	18,1717	2,0345	14,0083	2,4354	0,0559	2,0534	0,7983
SiK.75.1dia	74,6195	12,3509	1,7600	6,7580	2,1088	0,0270	1,6970	0,6788
SiK.75.7dias	67,2422	13,9456	2,9324	9,6815	2,7575	0,0720	2,3425	1,0263

Como pode ser observado na Tabela 3, com a idade a sílica vai sendo consumida em todos os sistemas, com sódio ou potássio e independentemente da temperatura. Observa-se, ainda, o efeito do ativador alcalino na composição química dos produtos obtidos, ou seja, os MAA's fabricados com silicato de sódio apresentam maiores teores deste álcali quando comprado com os oriundos a base de potássio. Quando analisado os teores de alumínio dos materiais produzidos, é possível observar teores mais elevados nos materiais ativados com potássio quando comparados aos de sódio.

Estas disponibilidades de elementos (Al) e consumo de outros (Si, Na, K) irão afetar as propriedades dos materiais produzidos, como serão observados mais detalhadamente nas seções 5.4.3 e posteriores.

5.4.3 DIFRAÇÃO DE RAIOS X

As Figuras 32 e 33 apresentam os Padrões de Difração obtidos dos MAA produzidos na pesquisa.

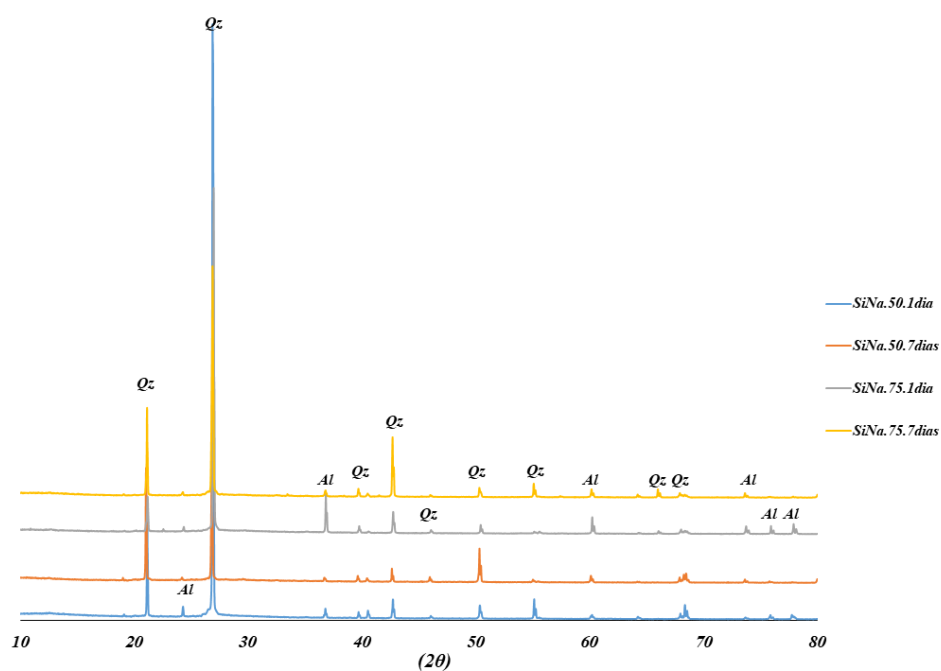


Figura 32. Difractogramas dos MAA a base de MK e Silicato de Sódio produzidos na pesquisa.

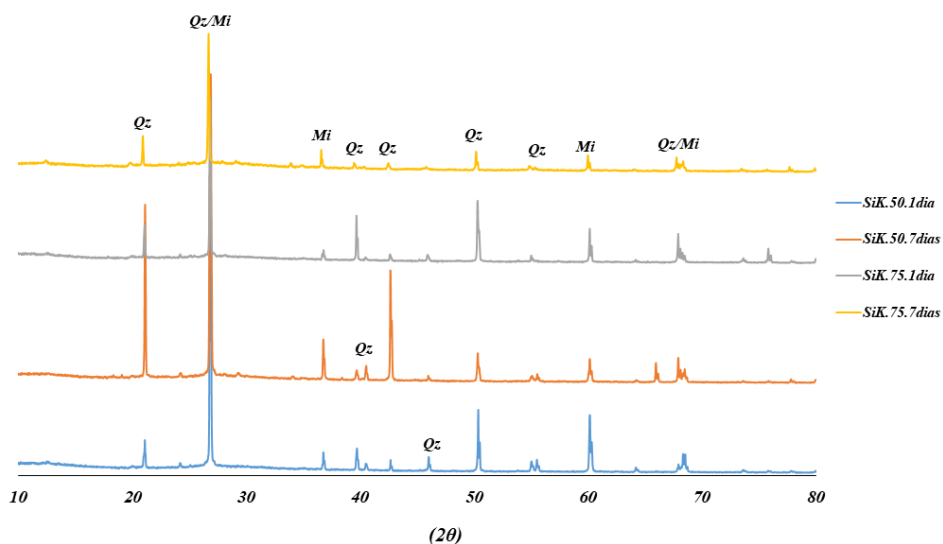


Figura 33. Difrátogramas dos MAA a base de MK e Silicato de Potássio produzidos na pesquisa.

Pode-se observar pelas Figuras 32 e 33 que as fases cristalinas dos MAA's obtidos são oriundas basicamente do seu material precursor e do tipo de ativador alcalino, sendo as fases de Quartzo (Qz) oriundos da Metacaulinita e as Fases de Albita (Al) e Mica (Mi), dos ativadores sódio e potássio, respectivamente.

Pode-se observar, ainda, que o tratamento térmico utilizado na cura dos materiais (50 e 75°C) não acarretaram modificações significativas nas fases mineralógicas dos produtos obtidos.

5.4.4 MICROSCOPIA ÓPTICA

A Figura 34 apresenta a micrografia de microscopia óptica obtida para o MAA a base de MK e Silicato de Sódio, curados a 50 °C por 7 dias.



Figura 34. Micrografias do MAA a base de MK e Silicato de Sódio em diferentes ampliações.

Pode ser observado pela Figura 34 o MAA a base de MK e Silicato de Sódio apresenta uma matriz densa e homogênea, o que confere uma melhor propriedade ao material, em especial em termos mecânicos, como será observado na seção 5.4.5.

5.4.5 RESISTÊNCIA MECÂNICA

5.4.5.1 Resistência a Compressão Simples

As Figuras 35 e 36 apresentam o ensaio de Resistência a Compressão Simples para as barras prismáticas de MAA a base de MK, sintetizados com silicato de sódio a 50 °C (7 dias)

e a Figura 37 apresenta o gráfico com os resultados de RCS obtidos para os materiais produzidos na pesquisa.

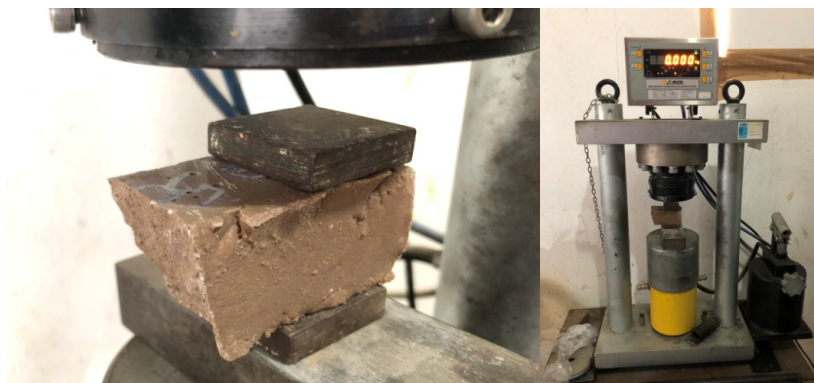


Figura 35. (a) e (b) Realização dos ensaios de RCS para o MAA de MK+SiNa (7 dias). Fonte: Autor (2018).



Figura 36. CP de MAA de MK+SiNa (7 dias) após a realização dos ensaios de RCS. Fonte: Autor (2018).

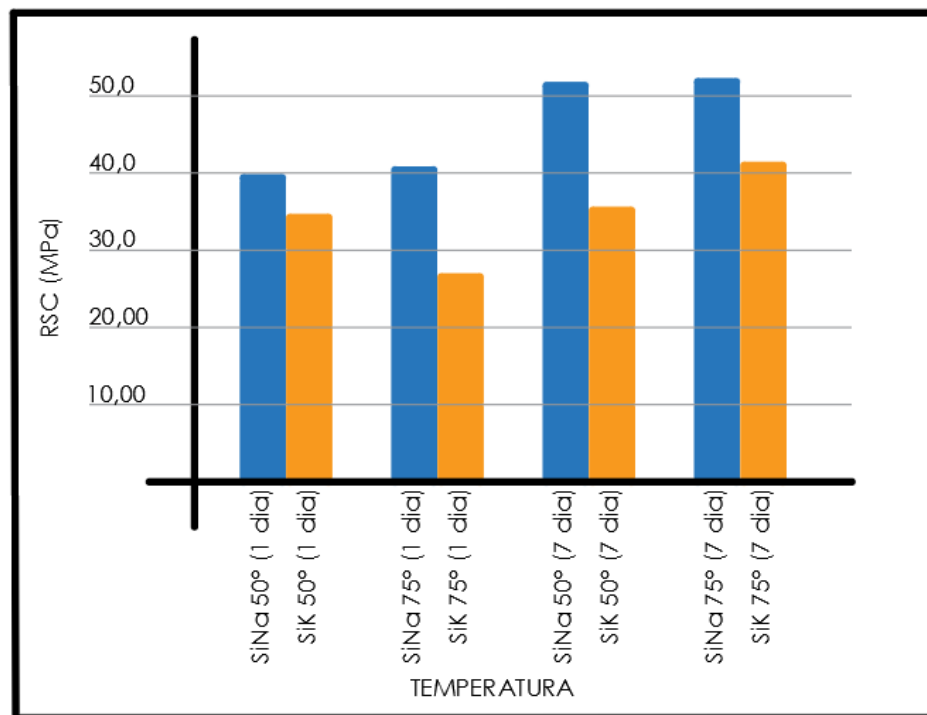


Figura 37. Resultados de RCS para os MAA's produzidos na pesquisa avaliando Temperatura, Idade e Tipo de Ativador Alcalino. Fonte: Autor (2018).

Como pode ser observado pela Figura 37, as resistências obtidas sofreram influencia tanto das temperaturas de cura, quanto das idades e do tipo de ativador utilizado.

Pode-se observar, quanto ao tipo de ativador, que os materiais a base do álcali sódio, apresentaram as maiores resistências, independentemente da idade e da temperatura de cura, quando comparados com os materiais obtidos a base do álcali potássio. De acordo, com Duxton (2007) isto já era esperado, pois o sódio promove maiores resistências mecânicas, enquanto que o potássio possibilita maior estabilidade térmica.

Quanto a temperatura de síntese empregada, é possível observar que para os materiais a base de sódio, o aumento da temperatura de 50 para 75°C não acarretou incremento significativos nas resistências, sendo mais importante a idade de cura. Já para os materiais a base de potássio, foi possível observar que o aumento da temperatura acarretou um aumento na resistência, em especial aos 7 dias.

Observando o comportamento dos materiais produzidos quanto a idade, é possível observar que este parâmetro é mais significativo para os materiais ativados com o álcali potássio, quando comparados aos ativados com sódio.

5.4.5.2 Resistência a Flexão

As Figuras 38 e 39 apresentam as barras prismáticas de argamassa de MAA antes da realização do ensaio, bem como após a realização do Ensaio de Flexão.



Figura 38. Barras de Argamassas de MAA a base de MK e Silicato de Sódio curados a 75°C, durante da realização do ensaio de Flexão, antes do rompimento. Fonte: Autor (2017).



Figura 39. Barras de Argamassas de MAA a base de MK e Silicato de Sódio curados a 50°C (esquerda) e 75°C (direita) após a realização do ensaio de Flexão. Fonte: Autor (2017).

A Figura 40 apresenta os resultados obtido no ensaio de Resistência a Flexão.

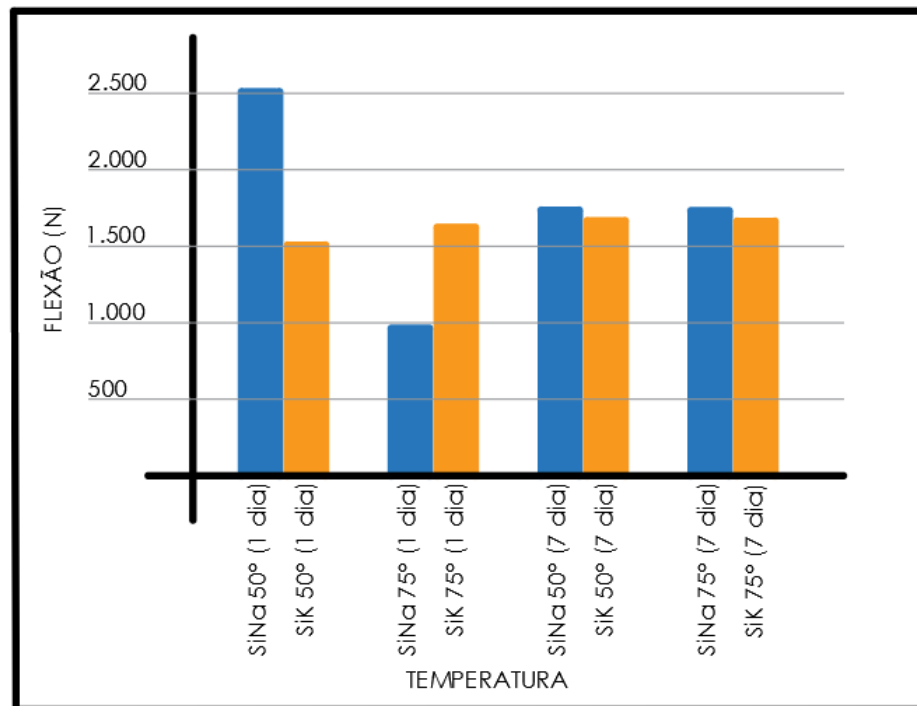


Figura 40. Relação entre Resistência a Flexão e Temperatura e tempo de cura. Fonte: Autor (2018).

Como pode ser observado na Figuras 40, o gráfico demonstra os resultados de Resistência a Flexão dos MAA's produzidos com relação ao tipo de ativador alcalino, idade e temperatura de cura da síntese. Observa-se um comportamento relevante da amostra de MK a base de SiNa 50 °C (1 dia) que obteve a maior resistência a Flexão e a amostras de SiNa 75°C (1 dia) que obteve o menor resultado entre as amostras. Destaca-se que ambas foram moldadas no mesmo dia com as mesmas condições, sendo apenas submetidas a temperaturas distintas.

De modo semelhante a RCS, as amostras que ficaram expostas a temperatura por mais tempos, obtiveram resultados mais similares com relação a resistência a flexão, independentemente do tipo de ativador alcalino.

5.4.5.3 Resistencia x Absorção

Após a realização dos testes mecânicos foi elaborado um gráfico comparativo relacionando a absorção do material e a resistência a compressão simples e a flexão, conforme pode ser observado na Figura 41 e 42.

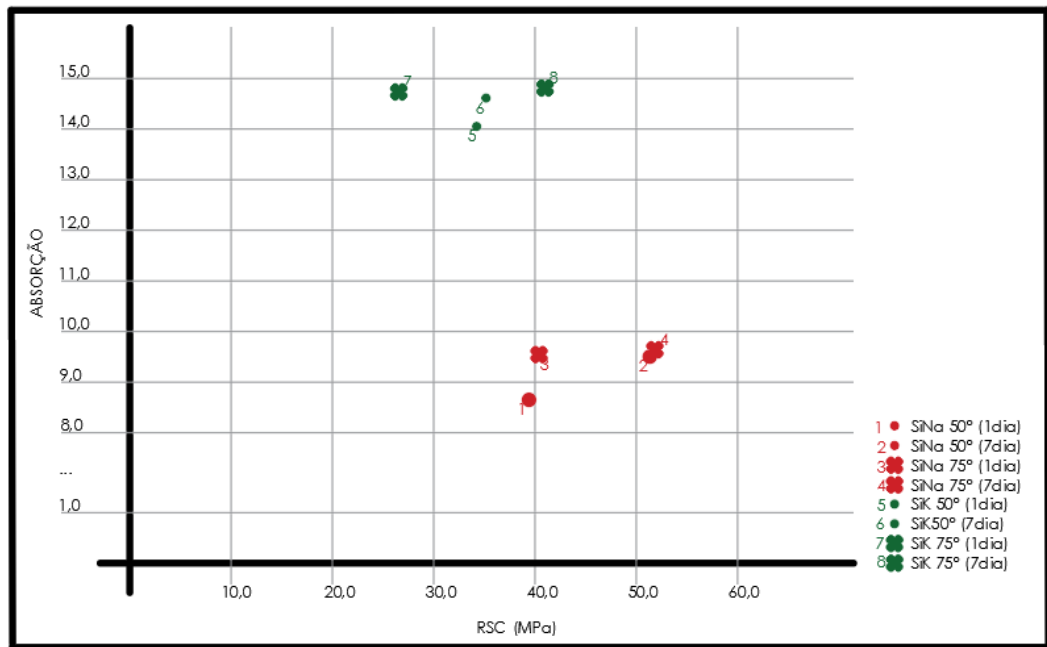


Figura 41. Relação entre a Absorção (%) e a RCS dos MAA's produzidos. Fonte: Autor (2018).

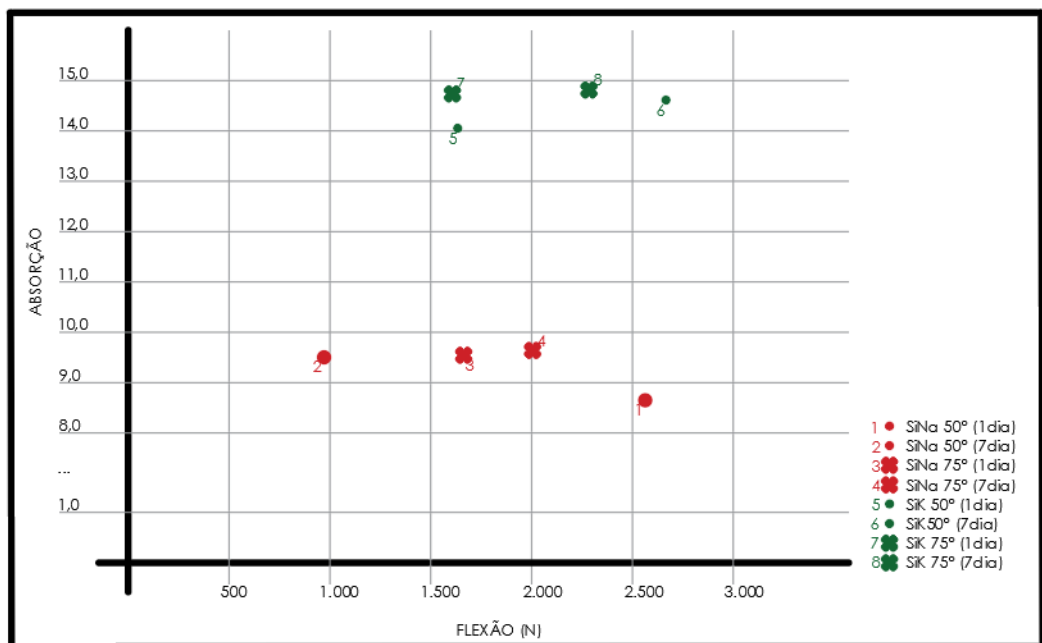


Figura 42. Relação entre a Absorção (%) e a Resistencia a Flexão dos MAA's produzidos. Fonte: Autor (2018).

Como pode ser observado na Figura 41 os materiais a base do álcali sódio apresentaram maiores valores de resistência a compressão simples e menores percentuais de absorção, sendo que as amostras curadas a menores temperaturas apresentam-se mais densas quando comparadas as curadas a temperaturas mais elevadas. Isto já era esperado, visto o

aumento de temperatura acelerar a perda de água na estrutura e acarretar maior quantidade de vazios na matriz.

Observando a Figura 42, pode-se que os materiais a base de sódio apresentam o mesmo comportamento de resistência a flexão observado na RCS, quando analisados o tipo de álcali utilizado na síntese para obtenção dos MAA's. Contudo, quando analisados o efeito da temperatura e da idade, o comportamento é diferenciado para cada tipo de álcali.

6. CONCLUSÃO

Com o desenvolvimento dessa pesquisa foi possível a obtenção de Blocos de argamassa de MAA a base de Metacaulinita que podem ser aplicados em blocos pré-moldados de telhado verde, que podem ser implementados em edificações residenciais, comerciais e condomínios verticais.

O design dos blocos pré-moldados foi criado para se adaptarem aos diversos desenhos de piso que possibilitassem o deslocamento dos usuários para futuras manutenções no telhado verde.

Após a realização dos ensaios de caracterizações nos blocos pré-moldados, constatou-se, que a temperatura influenciou nas propriedades mecânicas em termos de Resistência a Compressão Simples e a Flexão, em especial quando correlacionadas com Idade e Tipo de Álcalis.

Os materiais sintetizados com Silicato de Potássio (SiK) apresentaram maiores valores de absorção, enquanto os elaborados com Silicato de Sódio se apresentaram mais densos com valores na ordem de 10%. A utilização do álcali sódio acarretou um incremento das

propriedades mecânicas a nível de resistência a compressão e melhora nas propriedades físicas em termos de produzir matrizes menos porosas.

Após as análises, constatou-se que as amostras de argamassas de MAA sintetizadas com Silicato de Sódio curadas a 50 °C obtiveram um melhor resultado para a aplicação em telhados verdes, visto os valores obtidos nos ensaios físicos e mecânicos.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos futuros, podem ser destacados os seguintes itens:

- i) Estudo da influência do material escolhido juntamente com a vegetação do telhado vivo na temperatura interna dos ambientes.
- ii) Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) do material utilizado para pesquisa.
- iii) Análise comparativa de custos entre Telhado vivo feito com pré-moldados de MAA e pré-moldados de Cimento Portland.
- iv) Utilização do MAA para outros fins na Construção Civil como: material aplicado no sistema estrutural da edificação ou como alvenaria de vedação.
- v) Aplicação do bloco pré-moldado de MAA a base em Metacaulinita em jardins verticais, implantados em fachadas para a redução da temperatura ambiente das edificações e proteção contra a insolação.

REFERÊNCIAS

ALLAHVERDI, A; SKVARA, F. **Nitric acid attack on hardened paste of geopolymeric cements - Part 1. Ceramics - Silikaty 45. 2001a.**

ALLAHVERDI, A; SKVARA, F. **Nitric acid attack on hardened paste of geopolymeric cements - Part 2. Ceramics - Silikaty 45. 2001b.**

ARAÚJO, S. R. **As funções dos telhados Verdes no Meio Urbano, na Gestão e no Planejamento de Recursos hídricos.** Seropédica, Rio de Janeiro. 2007.

BENÉVOLO, L. **História das Cidades.** Ed. Perspectiva s.a. 1997.

BRASIL. **NBR 9778 - Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica.** Rio de Janeiro. 1987.

BRASIL. **NBR 12653 - Materiais Pozolânicos - Requisitos.** Rio de Janeiro. 2014.

DIMOUD, A.; NIKOLOPOULOU, M. **Vegetation an urban environment: Micro Climatic analysis and benefits.** Energy and Buildings, v. 35, n. 1, p. 69-73,2003

DAVIDOVITS, J. **Geopolymers: inorganic polimeric new materials.** Journal of thermal Analysis 37, 1633.1991

EDWARDS, Brian. **O guia básico para a sustentabilidade**. Ed. Gustavo Gili. São Paulo. 2008

GIOVANI B. **Man, climate and architecture**. 2 ed. London; Applied Science Publishers Ltda. 1976.

GOMES, 2008).

GOMEZ, F. Et al, **Vegetation and climates changes in a city**. Ecological Engineering. 1998.

GONÇALVES, J. C. S.; BODE, K. **Edifício Ambiental**. 1 Ed. São Paulo. Oficina de textos. 2015.

GOLDEMBERG, 2014

HENEINE, M. C. A. S. **Cobertura Verde**. Monografia do curso de Especialização em Construção civil. UFMG. Minas Gerais. 2008.

LEVINE et al., 2007).

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Construção Sustentável**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/urbanismo-sustentavel/construcaosustentavel>>. Acesso em: 10 ago. 2018.

MARY, W.; SILVA, L. P.; MORAES, M. F.; ARRUDA, J.; WATSON, E.; FERARI, A. C.; ROSSAFA, B.; PINTO, G. B. **Telhados Verdes: Ferramenta potencial para geração de renda em áreas de fragilidade social**. IX ENEPEA. Curitiba, Paraná. 2008.

NIACHOU, A. Et al. **Analysis of green roof thermal properties and investigation of its energy performance**. Energy Buildings. 2001. 2001

NEUFERT, E. **Arte de projetar em arquitetura**. 18 ed. São Paulo. Gustavo Gilli, 2013.

OSMUNDSON, T. **Roofs gardens: history, design and construction**. New York: W.W. Norton e Company, Inc, 1999.

PALOMO, A; VARELA, M.T.B; GRANIZO, M.T; PUERTAS, F. VARQUEZ, T; GRUTZECK, M.W. **Chemical stability of cementitious materials based on metakaolin**. Cement and Concrete Research. 1999b.

PALOMO A.; DE LA FUENTE J.I.L. **Alkali-activated cementitious materials: Alternative matrices for the immobilisation of hazardous wastes - Part I. Stabilization of boron**. Cement and Concrete Research 33(2): 281-288. 2003

RIVERO, R. **Arquitetura e Clima: acondicionamento térmico natural**. Porto Alegre: D.C. Luzzatto Editores: Ed. Da Universidade, UFRGS, 1998.

RODRIGUEZ, R. **The History of Green Roof Technology**. 2006. Disponível em: <http://www.ifenergy.com/50226711/the_history_of_green_roof_technology.php>. Acesso em: 14 ago. 2014.

ROMERO, M. A. B. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. São Paulo. ProEditores. 2000.

(SWADDLE et al., 1994;

SWADDLE, 2001).

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação do impacto ambiental: Conceitos e métodos**. 2ª Ed. São Paulo. Oficina de textos. 2013.

SENTE MG - SINDICADO DE ENGENHEIROS DE MINAS GERAIS. **Casa Sustentável**. Belo Horizonte. Pampulha Editora, 2012.

VAN DER MAREL, H. **Atlas of infrared spectroscopy of clay minerals and their admixtures**. Amsterdam. Elsevier. 1976.

VAN JAARSVELD, J.G.S; VAN DEVENTER, J.S.J; LUKEY, G.C. **The effect of composition and temperature on the properties of fly ash- and kaolinite-based geopolymers**. Chemical Engineerig Journal. 2002.

ANEXOS

ANEXOS 01

EXEMPLO DE VEGETAÇÃO UTILIZADA EM TELHADOS VERDES



Aptenia_cordifolia



Asparagus_sprengeri



Bulbine_frutescens



Lampranthus_sp



Lavandula_angustifolia



Lysimachia_congestiflora



Tradescantia_pallida



Tradescantia_zebrina



Sedum_multiceps

ANEXOS 02

Projeto de Lei Nº. _____ / 2011.

Dispõe sobre a obrigatoriedade da instalação do “Telhado Verde” nos locais que especifica, e dá outras providências.

A CÂMARA MUNICIPAL DE JOÃO PESSOA DECRETA:

Art. 1º Os projetos de condomínios edificadas, residenciais ou não, com mais de 3 (três) unidades agrupadas verticalmente, protocolizados na Prefeitura para aprovação a partir da data de promulgação da presente lei, deverão prever a construção do “Telhado Verde”

§ 1º - Para os fins desta Lei, “Telhado Verde” é uma cobertura de vegetação arquitetada sobre laje de concreto ou cobertura, de modo a melhorar o aspecto paisagístico, diminuir a ilha de calor, absorver o escoamento superficial, reduzir a demanda de ar condicionado e melhorar o microclima com a transformação do dióxido de carbono (CO₂) em oxigênio (O₂) pela fotossíntese.

§ 2º - O “Telhado Verde” poderá ter vegetação extensiva ou intensiva, de preferência nativa, e deve resistir ao clima tropical e as variações de temperatura, além de usar pouca água, de modo a não servir de habitat de mosquitos como o *Aedes aegypti*.

Art. 2º Somente será admitido como “Telhado Verde” a vegetação composta basicamente das seguintes camadas:

- I - impermeabilização;
- II - proteção contra raízes;
- III - drenagem;
- IV - filtragem;
- V - substrato; e
- VI - vegetação.

Art. 3º A área destinada pelas construções edificadas ao “Telhado Verde” será considerada, para todos os efeitos, como tendo as mesmas características da área permeável.

Art. 4º Para a consecução do “Telhado Verde”, o Poder Executivo fica autorizado a promover cursos e palestras para a divulgação das técnicas imprescindíveis à realização do projeto, como estrutural, tipos de vegetação, e substrato.

Art. 5º Ulterior disposição regulamentar desta Lei definirá o detalhamento técnico de sua execução.

Art. 6º As despesas decorrentes da execução desta lei correrão à conta de dotações orçamentárias próprias.

Art. 7º Esta Lei entra em vigor na data de sua publicação, revogadas as disposições em contrário.

Sala das Sessões da Câmara Municipal de João Pessoa, em 02 de junho de 2011.

Bruno Farias de Paiva
Vereador do PPS

JUSTIFICATIVA

O Projeto de Lei que ora apresento tem como base o programa “Telhado Verde”, que nasceu da ideia de se plantar grama ou plantas em uma cobertura de edifício. Isto já é feito em muitos países, principalmente na Alemanha onde o assunto é fruto de pesquisas de mais de 30

anos. Ali, concluiu-se que os espaços abertos e a presença do verde causam benefícios psicológicos, sendo um redutor do estresse humano.

O telhado verde ou telhado vivo, como alguns costumam chamar esse tipo de cobertura que leva terra e plantas no lugar de telhas, constitui-se como um excelente aliado na melhoria da qualidade de vida das pessoas, na valorização dos empreendimentos residenciais e comerciais, assim como no combate aos efeitos das mudanças climáticas. Conforto térmico e acústico, proteção do prédio, ambientação arquitetônica, espaços de lazer e produção de alimentos. Estes são alguns dos inúmeros benefícios que esta tecnologia traz ao homem e à sociedade.

Com o crescente desenvolvimento das cidades e de áreas rurais, espécies vegetais e animais têm sido expulsas de seu habitat natural. A cobertura vegetal ou telhado de grama é ferramenta fundamental para a sobrevivência e continuidade da manutenção da vida no conceito urbano que se forma a partir de agora. Também devemos considerar a melhoria da qualidade do ar através da fotossíntese e da aderência dos poluentes ao substrato, pois os telhados verdes agem como purificadores do ar urbano. Assim podemos entender que o telhado ecológico é a solução para cidade moderna. Ele também diminui a reverberação ao absorver e isolar ruídos, diminuindo também significativamente a necessidade de energia para climatização de ambientes, contribuindo assim para a diminuição de emissão de CO₂ e de suas consequências.

Outra ação é proporcionar excelente conforto ambiental, pois além do isolamento térmico, ele age por evapo-transpiração, perdendo a energia de evaporação da água por ele retida. O telhado verde também consome energia pela fotossíntese. Pela evapo-transpiração auxilia no arrefecimento de centros urbanos. A continuidade dos telhados ecológicos na cidade influi muito significativamente para o conforto ambiental das áreas mais urbanizadas.

A cobertura verde pode ser aproveitada para horticultura com grandes vantagens principalmente no caso de projetos de casas populares. A produção de alimentos próxima ao consumo, tem sido apontada com elemento de sustentabilidade na idealização da cidade do futuro. Para quem pensa em captar a água da chuva (medida extremamente importante para conter o problema da falta de água), as plantas e a terra do telhado verde funcionam como um filtro natural da água, que pode ser armazenada ainda mais limpa, para depois ser usada na

irrigação do jardim, nas bacias sanitárias, no chuveiro e, em regiões mais áridas, até para cozinhar e beber. Sem falar que um telhado em forma de jardim deixa a casa mais bonita, convidativa.

Além disso, devemos considerar que o telhado verde faz uma compensação da parte do solo que foi coberta com a construção. Aí se inserem as qualidades ambientais do telhado verde, que crescem à medida que aumentam a incidência e a escala desses telhados. Pensemos numa cidade como São Paulo, por exemplo, onde as construções impermeabilizaram boa parte do solo. Onde tem telhado verde, a água da chuva escorre mais devagar, já que precisará atravessar a camada de terra antes de atingir o solo. Isso ajuda a combater as enchentes, especialmente aquelas causadas por chuvas fortes e de curta duração.

O telhado verde também combate as ilhas de calor que se formam nas cidades grandes por causa da falta de áreas verdes e excesso de áreas com solo impermeabilizado. A regra da escala que vale para o problema das enchentes também vale para as ilhas de calor: um telhado verde não faz milagres, mas um conjunto de telhados-jardins pode ajudar a reduzir a temperatura em áreas densamente construídas. Assim, devemos pensar como seria um telhado verde num Shopping Center, numa universidade ou numa indústria. Os benefícios que seriam conquistados. Nos Estados Unidos, uma das fábricas da Ford tem o título de maior telhado verde do mundo.

Existe ainda outra grande vantagem do telhado verde nas cidades: a reabilitação de habitats para pássaros e outros bichos pequenos (borboletas, besouros, grilos, gafanhotos, abelhas e por aí vai). Em Londres, os telhados-verdes ganharam fama depois do sucesso do trabalho de um observador de pássaros que começou a reproduzir nos telhados da cidade o ambiente natural de um pássaro que estava em extinção. Aos poucos, os animais conseguiram aumentar sua população, com espaço para viver e se reproduzir. E, claro, a cidade ficou mais bonita e saudável também.

Recentemente dois pesquisadores da Universidade Cardiff, no País de Gales, realizaram um estudo provando que o uso do telhado-verde faz com que a temperatura das grandes cidade reduza consideravelmente. Phillip Jones, diretor da Escola Welsh de Arquitetura, e a arquiteta Eleftheria Alexandri simularam no computador os efeitos em 9 metrópoles caso elas cobrissem o teto de todos os seus edifícios com vegetação. Eles perceberam que, dependendo do lugar, a temperatura local poderia cair de 3,6 a 11,3 graus.

Quanto mais quente a cidade, maior o efeito refrescante. Isso acontece por dois motivos. Em primeiro lugar, a vegetação absorve menos calor do que o concreto. Superfícies quentes aquecem o ar à sua volta e têm uma grande influência sobre a temperatura local, constatou o pesquisador Phillip Jones. Além disso, a transpiração das árvores aumenta a umidade do ar, e, dessa forma, também reduz a temperatura. Muros verdes também produzem um efeito parecido, mas telhados são mais eficientes, já que cobrem uma área de exposição ao sol bem maior. Além de reduzir o calor, em regiões quentes as coberturas verdes diminuem consideravelmente o consumo de energia com o uso de ar-condicionado. Esta é também uma constatação do trabalho. E consumo menor de energia significa menos poluição, principalmente nos países que usam usinas termoeletricas.

Com o nosso projeto, vamos estimular a criação de áreas verdes, diminuindo consideravelmente o desgaste ambiental da cidade de João Pessoa.

Portanto, diante de todo o exposto e, considerando o legítimo interesse público da proposição, esperamos contar com o apoio dos ilustres pares, na sua aprovação.

Bruno Farias de Paiva