

Trabalho de Formatura

Curso de Graduação em ENGENHARIA AMBIENTAL

TECNOLOGIAS, CONCEITOS E PROPOSTAS DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO
SUSTENTÁVEL DO CENTRO DE VIVÊNCIAS DA UNESP, RIO CLARO/SP

Luana Ly Kwai

Prof(a).Dr(a). Clauciana Schmidt Bueno de Moraes

Rio Claro (SP)

2013

LUANA LY KWAI

**TECNOLOGIAS, CONCEITOS E PROPOSTAS DE
MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL DO
CENTRO DE VIVÊNCIAS DA UNESP, RIO CLARO/SP**

*Trabalho de Formatura apresentado ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas -
Campus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho,
para obtenção do grau de Engenheiro
Ambiental.*

Orientador (a): Prof(a). Dr(a). Clauciana Schmidt Bueno de Moraes

Rio Claro - SP
(2013)

628.092 Kwai, Luana Ly
K98t Tecnologias, conceitos e propostas de materiais de construção sustentável do Centro de Vivências da UNESP, Rio Claro/SP / Luana Ly
Kwai. - Rio Claro, 2013
70 f. : il., figs., gráfs., tabs., quadros

Trabalho de conclusão de curso (Engenharia ambiental) -
Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: Clauciana Schmidt Bueno de Moraes

1. Engenharia ambiental. 2. Construção sustentável. 3. Construção civil. 4. Materiais sustentáveis. 5. Tecnologias ambientais. I. Título.

LUANA LY KWAI

**TECNOLOGIAS, CONCEITOS E PROPOSTAS DE
MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL DO
CENTRO DE VIVÊNCIAS DA UNESP, RIO CLARO/SP**

*Trabalho de Formatura apresentado ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas -
Campus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho,
para obtenção do grau de Engenheiro
Ambiental.*

Comissão Examinadora

Prof(a). Dr(a). Clauciana Schmidt Bueno de Moraes (orientadora)
Prof. Dr. Marcelo Loureiro Garcia
Eduardo Dalla Costa

Rio Claro, 21 de junho de 2013.

Assinatura do(a) aluno(a)

Assinatura do(a) orientador(a)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente minha orientadora Clauciana, por me acolher de última hora, pelo incentivo à pesquisa e por sua luta pela educação na universidade.

Aos meus pais e meu irmão, Lisa, Dik e Nan Te, que sempre abriram meus horizontes e deram todo suporte aos meus estudos e nos caminhos que trilhei.

Às minhas amigas de república, Sarita, Elis, Rafaella, Natasha e Beatriz, que me proporcionaram o aprendizado da vida, me ensinaram como eu sou e fizeram meus dias mais felizes.

Aos meus amigos Marcos, Eduardo, Bruno Z. e Lucas, que de forma especial, cada um contribui com a minha formação como pessoa.

E agradeço a todos os professores que lecionaram para a turma de 2008 da Engenharia Ambiental, uma classe que se uniu não por acaso.

RESUMO

Devido ao grande impacto ambiental ocasionado pela construção civil, a universidade apresenta um papel primordial no desenvolvimento de estudos e projetos alternativos que visem o desenvolvimento sustentável. Este projeto apresenta as vantagens e a importância de se construir de maneira sustentável do começo ao fim a obra de um Centro de Vivências na UNESP de Rio Claro/SP. Serão apresentadas alternativas de materiais para a construção que tenham alto desempenho ambiental e que causem o menor impacto negativo possível. Implantar um Centro de Vivências por meio de uma construção sustentável está na necessidade da universidade de se renovar às novas tendências da sociedade em que a construção civil entra em harmonia com meio ambiente na qual é inserida. Esta construção sustentável servirá de modelo para os alunos e moradores de Rio Claro, visto que o prédio em si servirá como forma de aprendizado para o público frequentador, assim como para os demais campi da UNESP. Deste modo, este projeto servirá como guia para os tomadores de decisão frente a enorme quantidade de materiais de construção disponíveis no mercado.

Palavras-chave: Construção sustentável, Construção civil, Materiais sustentáveis, Tecnologias ambientais.

ABSTRACT

Due to the great impact caused by construction, the university has a major role in the development of alternative projects and studies aimed at sustainable development. This project presents the advantages and importance of building in a sustainable manner from the beginning to end of the Center of Experiences at UNESP, Rio Claro / SP. It will be presented alternative building materials that have high environmental performance and that bring the least negative impacts as possible. Providing a Center of Experiences through a sustainable building is in need of the university to renovate the new trends of society in which the construction is in harmony with the environment in which it is inserted. This sustainable building will serve as a model for students and residents of Rio Claro, since the building itself will serve as a way of learning to the audience goer, as well as for the other campuses of UNESP. Thus, this project will serve as a guide for decision makers facing the huge amount of building materials available in the market.

Keywords: Sustainable Construction, Building Materials, Sustainable Environmental Technologies.

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA..... | 8 |
| 2. OBJETIVOS..... | 9 |
| 2.1 Objetivo Geral..... | 9 |
| 2.2 Objetivos Específicos..... | 9 |
| 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 10 |
| 3.1. Universidade sustentável e construção civil..... | 10 |
| 3.2 Sustentabilidade aplicada à construção civil..... | 11 |
| 4. METODOLOGIA..... | 13 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 14 |
| 5.1 Materiais propostos para o Centro de Vivências da UNESP - Rio Claro/ SP..... | 14 |
| 5.1.1 Concreto..... | 14 |
| 5.1.2 Cimento..... | 15 |
| 5.1.3 Agregados..... | 19 |
| 5.1.4 Madeira..... | 28 |
| 5.1.5 Bambu..... | 30 |
| 5.1.6 Terra..... | 32 |
| 5.1.7 ISOPET..... | 34 |
| 5.1.8 Tubopet..... | 35 |
| 5.1.9 Gesso..... | 36 |
| 5.1.10 Steel Frame e Wood Frame..... | 38 |
| 5.1.11 Materiais de Mudança de Fase..... | 39 |
| 5.1.12 Vidros..... | 41 |
| 5.1.13 Tintas..... | 42 |
| 5.2 Usos potenciais dos resíduos reciclados..... | 44 |
| 5.3 Análise dos materiais..... | 46 |
| 5.3.1 Durabilidade..... | 47 |
| 5.3.2 Impactos Ambientais..... | 49 |
| 5.3.3 Impactos Sociais..... | 51 |
| 5.3.4 Impactos Econômicos..... | 52 |
| 5.3.5 Selo Verde..... | 53 |
| 5.4 Escolha dos materiais do processo construtivo utilizando a metodologia AQUA..... | 55 |
| 5.5 Escolha dos materiais do processo construtivo utilizando a metodologia LEED..... | 60 |
| 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES..... | 62 |
| 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 64 |

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

As universidades, por definição, aceitaram o desafio de liderança e aspiração por práticas melhores na criação e disseminação do conhecimento. A transição para a sustentabilidade traz novos desafios, mas também enormes oportunidades. Elas são quem estão mais aptas e possuem a maior obrigação na sociedade moderna de facilitar a transição para um futuro sustentável (UNEP, 2012).

Os princípios de sustentabilidade podem ser enquadrados em praticamente toda a atividade humana, principalmente naquelas que têm impacto direto no ambiente, como é o caso do setor da construção. O Conselho Internacional da Construção (CIB) aponta a indústria da construção como o setor de atividades humanas que mais consome recursos naturais e utiliza energia de forma intensiva, gerando consideráveis impactos ambientais. Além dos impactos relacionados ao consumo de matéria e energia, há aqueles associados à geração de resíduos sólidos, líquidos e gasosos. Estima-se que mais de 50% dos resíduos sólidos gerados pelo conjunto das atividades humanas sejam provenientes da construção. Tais aspectos ambientais, somados à qualidade de vida que o ambiente construído proporciona, sintetizam as relações entre construção e meio ambiente (MMA, 2012).

Os edifícios sustentáveis asseguraram grande satisfação aos ocupantes e são de longe mais eficientes e mais saudáveis de utilizar. Na maioria dos casos, dada a sua maior durabilidade e eficiência na utilização dos recursos, as operações e manutenção são reduzidas e menos onerosas. Muitos estudos evidenciam o aumento de produtividade dos trabalhadores e a redução do absentismo derivado das práticas sustentáveis adotadas (PINHEIRO, 2003).

Deste modo, devido ao alto impacto ambiental da construção civil, faz-se mais que necessário estimular as construções sustentáveis em todos os setores, tanto em empreendimentos privados como públicos, e principalmente estimular o desenvolvimento de estudos nas universidades.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Esse trabalho tem como objetivo investigar o uso de materiais sustentáveis como proposta para a construção de um Centro de Vivências na Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho de Rio Claro/SP, analisando as alternativas existentes. Espera-se encontrar a melhor proposta de materiais para esta edificação, analisando aspectos econômicos, sociais e ambientais.

2.2 Objetivos Específicos

- Diagnosticar os materiais para a construção que apresentem elevado desempenho ambiental e simultaneamente um menor impacto, que possuam facilidade de reciclagem, tenham processo de fabricação eficiente, sejam duráveis, apresentem pouca ou nenhuma toxicidade, manutenção saudável, reduzam o consumo de água e energia. Analisar impactos tanto ambientais como econômicos e sociais.

- Analisar o quanto os materiais encontrados se adequam aos requisitos exigidos pelos certificados de construções sustentáveis AQUA e LEED.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Universidade sustentável e construção civil.

Desde 1987, quando foi elaborado o Relatório *Brundtland* (1987) ou documento intitulado *Nosso Futuro Comum*, o desenvolvimento sustentável é concebido como um processo de mudança em que a exploração dos recursos, a direção dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional estão todos em harmonia e aumentam o potencial atual e futuro para alcançar as aspirações e necessidades humanas.

Do engajamento das universidades com as políticas de desenvolvimento sustentável, surgem, nos Estados Unidos, os *Greencampi*, assim como na Austrália, México, Japão e outros países da Europa. Existem diversas associações que tem como objetivo incrementar as práticas sustentáveis na educação de nível superior, tanto na esfera intelectual, como no plano físico através dos *greenbuildings*, como por exemplo, a AASHE - *Association for the Advancement of Sustainability in Higher Education*, a HEASC - *Higher Education Associations Sustainability Consortium*, e a ULSF - *University Leaders for a Sustainable Future* (DEEKE; CASAGRANDE JR; SILVA, 2008).

Um exemplo no Brasil é o Campus da Universidade Federal de Manaus (UFAM) que desde 1973 apresenta como estratégia do seu projeto, soluções passivas de conforto térmico como o efeito chaminé, ventilação cruzada, coberturas duplas e independentes, dentre outras ideias (DEEKE; CASAGRANDE JR., 2008). Outro exemplo é o Laboratório de Remediação de Águas Subterrâneas da Universidade Federal de Santa Catarina. O prédio tem um projeto que contará com um telhado verde, aproveitará os ventos dominantes e a luz natural e painéis solares, além de conter materiais de que tenham menos impacto ambiental.

Segundo Gaede (2008), a participação da indústria da construção civil no Produto Interno Bruto (PIB) vem aumentando desde o ano de 1995. Em 2002, o macro setor da construção civil respondeu por 18,4% do PIB. E cerca de 70% de todos os investimentos feitos no país passa pela cadeia da indústria da construção civil. Por outro lado, apesar da significância econômica do setor, o mesmo ainda é responsável por uma alta geração de impactos ambientais, através do consumo de recursos naturais, da modificação da paisagem ou da geração desenfreada de resíduos sólidos.

3.2 Sustentabilidade aplicada à construção civil

Existem diversas definições para construção sustentável. De acordo com a Agenda 21 para a Construção Sustentável em Países em Desenvolvimento, a construção sustentável é definida como: "um processo holístico que aspira a restauração e manutenção da harmonia entre os ambientes natural e construído, e a criação de assentamentos que afirmem a dignidade humana e encorajem a equidade econômica" (CIB; UNEP-IETC, 2002).

A construção é considerada sustentável quando ela:

Quadro 1: Construção sustentável

| Aumenta | Reduz |
|--------------------|----------------------------|
| Eficiência | Ruído |
| Segurança | Poluição do ar |
| Durabilidade | Entulho |
| Reciclabilidade | Manutenção |
| Aproveitamento | Resíduos sólidos |
| Tecnologias limpas | Toxicidade |
| Desempenho | Perdas |
| | Materiais |
| | Esgotamento de recursos |
| | Consumo e poluição da água |
| | Gases do efeito estufa |
| | Consumo de energia |

Fonte: Elaborado pelo autor

O conceito de construção sustentável consolida uma nova mentalidade na indústria da construção civil, que passa a firmar compromisso com os princípios de uma “economia verde” e se mostra disposta a adotar práticas que melhorem o desempenho socioambiental. Essa mudança de paradigma do mercado começa no projeto e segue até a construção efetiva, passando por criteriosa seleção de materiais e alternativas menos impactantes ao ambiente e à saúde humana (CNI; CBIC, 2012).

A principal diferença entre um edifício sustentável e um edifício convencional está na visão sistêmica inerente à própria sustentabilidade. Para uma edificação sustentável bem sucedida, é importante que os todos os profissionais envolvidos compreendam a edificação com um pensamento sistêmico: a importância de um projeto integrado. As etapas do projeto deixam de ser lineares, e os diversos profissionais interagem em todo o processo, e na

sustentabilidade é levado em consideração o uso, a manutenção e até sua demolição, incluindo o ciclo de vida dos materiais (DEEKE; CASAGRANDE JR; SILVA, 2008).

Uma gestão adequada dos resíduos popularmente chamados de entulho reduz custos sociais, financeiros e ambientais, o qual deve ser gerenciado do projeto à sua destinação final, para que impactos ambientais sejam evitados. O mau gerenciamento desses resíduos contribui para o acelerado esgotamento das áreas de disposição final do lixo urbano, os custos adicionais de governos e o desperdício de recursos naturais não renováveis (BLUMENSCHNEIN, 2007).

O desperdício é um dos principais indicadores de custo, representando falta de controle de qualidade da empresa. O mesmo pode ocorrer de diversas formas: devido a erros no processo, a retrabalhos, tempos ociosos de mão-de-obra e uso de equipamentos, por falta de planejamento, falta de uma política administrativa e gerencial, problemas com a qualidade do material, programas de contratação e treinamentos inadequados, patologias construtivas com altos custos de reparação e manutenção entre outros (KUNKEL, 2009).

A complexidade da gestão dos resíduos requer uma combinação adequada das formas de disposição. Em primeiro lugar a não geração do resíduo, ou seja, a redução da geração do resíduo na fonte. Segundo, uma vez que o resíduo foi gerado sua reutilização deve ser considerada. A terceira forma de disposição possível é a reciclagem. A quarta alternativa é a recuperação de energia, ou seja, a incineração. E finalmente, a quinta forma de disposição é o aterro sanitário (BLUMENSCHNEIN, 2007).

O entendimento ou interpretações sobre a sustentabilidade em edifícios e na construção civil tem tido diferentes posicionamentos ao longo dos anos: o foco inicial na questão de recursos limitados, especialmente energia e, em como reduzir impactos no meio ambiente, mudou nas duas últimas décadas para enfatizar aspectos mais técnicos relativos a materiais, componentes de edificações, tecnologias construtivas e conceitos de projeto relacionados à questão energética. E, especialmente nos últimos anos, a atenção se voltou também para as questões não técnicas, também chamadas *soft issues* como aspectos sociais, econômicos e mais recentemente os culturais surgiram como prioritários para a construção sustentável (BARATELLA, 2011).

Tendo em vista todas as vantagens de se construir de modo sustentável, cabe às universidades estimularem de maneira prática os alunos e a sociedade, dando o primeiro passo ao construir seus prédios com a devida preocupação do ambiente nos quais estão inseridos. As vantagens são claras e convincentes, comprovando que este é o momento oportuno de ser a vanguarda no avanço do desenvolvimento sustentável.

4. METODOLOGIA

A pesquisa foi desenvolvida como proposta para uma futura construção do Centro de Vivência da UNESP no campus de Rio Claro/ SP utilizando-se a estratégia da pesquisa empírica, possibilitando a análise do tema proposto a partir da pesquisa de diferentes autores e diversas fontes bibliográficas. A pesquisa bibliográfica auxiliou na reflexão sobre as diferentes perspectivas da construção sustentável.

A partir da coleta dos dados foi feita uma análise que conduziu à interpretação do assunto pesquisado, em que foram expostos materiais com viés sustentáveis adequados para esta obra. Como resultado, elaborou-se uma tabela que relaciona os materiais com as diversas preocupações das certificações AQUA e LEED.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Materiais propostos para o Centro de Vivências da UNESP - Rio Claro/ SP.

Todo o exercício da cadeia produtiva da construção desde a preparação de atividades iniciais como terraplanagem à produção, manutenção e uso efetivo de instalações e edificações depende de um fluxo constante de materiais e sistemas (CNI; CBIC, 2012). Este projeto identificou uma série de materiais que, a partir de avanços tecnológicos, apresentam um diferencial no mercado, seja por serem constituídos por algum material reciclável, seja por apresentarem soluções mais saudáveis aos usuários.

5.1.1 Concreto

A fabricação do concreto (Figura 1), produto básico da construção civil, implica consumo destrutivo dos recursos naturais e diversos impactos ambientais após seu uso. Além disso, na produção de concreto, 90% do CO₂ vem da fabricação do cimento *Portland*. Por isso tem-se desenvolvido estudos que utilizam agregados produzidos com outras substâncias. (ALBUQUERQUE; GONÇALVES, 2010)

O concreto utiliza, em média, 42% de agregado graúdo (brita), 40% de areia, 10% de cimento *Portland*, 7% de água e 1% de aditivos químicos. Os agregados ocupam de 55 a 80% do volume do concreto, compostos basicamente de areia e rocha britada. Para a indústria da construção civil são os insumos minerais mais consumidos no mundo (VALVERDE, 2001).



Figura 1: Concreto

Fonte: CCVILES

Em geral, a recomendação de uso de altas quantidades de cimento ocorre devido à necessidade de alta resistência do concreto, por exemplo, em pilares de edifícios altos ou em peças

de sustentação em grandes vãos. Porém, altas quantidades de cimento aumentam o calor de hidratação, ocasionado pela reação química entre o cimento e a água. Este calor, quando liberado, atua aumentando a temperatura do concreto, que se expande e acaba por ter maior propensão a rachar, o que implica na diminuição da resistência mecânica e na possibilidade de penetração de água ou infiltração de umidade do meio ambiente (Inovação Tecnológica apud Agência USP, 2011).

Por outro lado, concretos com maiores teores de cimento ou aditivos podem gerar elementos menores, por apresentarem maiores resistências, o que resulta em um consumo final menor.

Apesar do concreto possuir um valor econômico limitado como um produto reutilizável, seu amplo uso na construção civil significa que ele é um bom candidato ao reuso ou à reciclagem, com o intuito de minimizar os custos e impactos ambientais associados à sua disposição (ADDIS, 2006).

5.1.2 Cimento

O cimento tradicional (Figura 2), o chamado *Portland*, é composto basicamente por argila e calcário – materiais extraídos de jazidas, posteriormente moídos e que, quando fundidos em fornos a 1500 °C, se transformam em pequenas bolotas de clínquer. Esses grãos de clínquer são misturados e moídos com gipsita, a matéria-prima do gesso, até virarem cimento (JOHN; PILEGGI, 2013 apud ALISSON, 2013). O seu processo da fabricação é responsável por mais de 80% do consumo energético e 90% das emissões de CO₂.



Figura 2: Cimento

Fonte: REDECASAMAIIS

Dentre as várias alternativas para redução dos impactos energéticos e ambientais decorrentes da produção do cimento, recomenda-se a redução do consumo de clínquer pela indústria cimenteira, ou a substituição do cimento *Portland* por materiais cimentícios e/ou pozolânicos suplementares,

reduzindo a relação clínquer/cimento. Inúmeros são os materiais utilizados em substituições ativas, os quais em função da grande quantidade disponível e facilidade de obtenção, apresentam considerável potencial de emprego (TOLEDO, 2011).

5.1.2.1 Cimento com Resíduos de Construção e Demolição

O cimento pozolânico pode ser obtido a partir das frações finas de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) (Figura 3). Essa nova tecnologia desenvolvida pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), permitirá produzir um cimento de baixo custo e reduzido impacto ambiental. Por possuir características diferentes em comparação às do cimento convencional, suas aplicações também serão diferenciadas, como por exemplo, servir de base para revestimento de pavimentos rígidos e de reaterro estabilizado de valas de água, esgoto e telefonia (IPT, 2013).



Figura 3: Resíduos de Construção e Demolição

Fonte: ABRECON

Em escala, os novos produtos podem contribuir para diminuir ainda mais as emissões de gás carbônico da indústria do cimento e racionalizar o consumo de recursos naturais como agregados minerais. A produção do cimento de RCD ainda contribuirá para diminuir a pressão do volume de resíduos de construção sobre os aterros, ajudando as empresas do setor no cumprimento da nova Política Nacional de Resíduos Sólidos (IPT, 2013).

5.1.2.2 Cimento com escória de alto-forno

A escória de alto-forno (Figura 4) é um subproduto siderúrgico largamente disponível e, uma vez moída e ativada com materiais alcalinos (cimento, cal e gesso) ou termicamente, desenvolve hidratação semelhante ao clínquer (SAVASTANO JR, 2003).



Figura 4: Escória de alto forno

Fonte: MAGNITOGORSK

Atualmente a reciclagem na produção de cimento consome boa parte das escórias geradas no Brasil, mas ainda existem sobras significativas e enormes pilhas de estoque. Suas vantagens foram analisadas por John e Agopyan (2000):

- Redução da poluição emitida na produção do clínquer. A produção do clínquer implica na calcinação de calcário, que libera grande quantidade de CO_2 , responsável pelo efeito estufa. E a substituição de 60% do clínquer por escória de alto forno permite uma redução de CO_2 de 494 kg/ton cimento;
- Redução da quantidade de CO_2 pela descarbonatação;
- Redução da quantidade de combustível, uma vez que a escória não precisa ser calcinada;
- Redução do volume dos aterros;
- Redução do calor de hidratação;
- Controle da reação de álcali-agregado, que leva a destruição de estruturas expostas à umidade;
- Melhoria da resistência contra a penetração de cloretos;
- Aumento da durabilidade das estruturas de concreto confeccionadas com a adição de escória de alto forno;
- Diminuição os custos de manutenção dessas obras.

No Brasil, o cimento *Portland* de alto forno é conhecido como CP III ou CP IV, e corresponde cerca de 18% de todo cimento consumido no país em 2010, com perspectivas de crescimento (CIMENTO.ORG, 2010).

Os cimentos com uso de escória de alto forno, já normatizados no Brasil são:

O CP II-E - Cimento Portland composto com escória (NBR 11578) é o cimento mais consumido no Brasil. Ele leva em sua composição de 6 a 34% de escória de alto forno (INSTITUTO AÇO BRASIL apud CCABRASIL, 2010).

O CP III- Cimento Portland de Alto Forno (NBR 5735) leva em sua composição de 35 a 70% de agregado siderúrgico de alto forno, sendo considerado por isso o cimento mais ecológico de todos os cimentos produzidos no país, já que com seu uso reduz-se o consumo dos recursos naturais não renováveis. Ele apresenta maior impermeabilidade e durabilidade, além de baixo calor de hidratação, assim como alta resistência à expansão. Representa cerca de 18% de todo o cimento consumido no Brasil (INSTITUTO AÇO BRASIL apud CCABRASIL, 2010).

O CP IV (com pozolana - NBR 5736) tem baixo calor de hidratação, o que o torna bastante recomendável na concretagem de grandes volumes e sob temperaturas elevadas. Além disso, o alto teor de pozolana, entre 15 e 50%, proporciona estabilidade no uso com agregados reativos e em ambientes de ataque ácido, em especial de ataque por sulfatos. É altamente eficiente em argamassas de assentamento e revestimento, em concreto magro, concreto armado, concreto para pavimentos e solo-cimento (CIMENTO.ORG, 2010).

Um problema encontrado é que a indústria do aço, altamente emissora de CO₂, não cresce na mesma velocidade das cimenteiras, inviabilizando as estratégias no longo prazo (JOHN; PILEGGI, 2013 apud ALISSON, 2013).

5.1.2.2 Cimento pó de calcário

O pó de calcário ou filler de calcário cru (Figura 5) é uma matéria-prima que dispensa tratamento térmico (calcinação). A quantidade de filler na fórmula do cimento, contudo, era limitada a, no máximo, 10% no Brasil e em até 30%, em algumas situações, na Europa. Isso porque o calcário é moído junto com o cimento e, como não há controle do tamanho das partículas do material, seu limite de adição é baixo (JOHN; PILEGGI, 2013 apud ALISSON, 2013).



Figura 5: Calcário

Fonte: SERRANÓPOLIS

Pesquisadores da Escola Politécnica de Engenharia de São Paulo demonstraram em laboratório que combinando granulometrias de pó de calcário é possível aumentar para 70% a proporção do material e diminuir para 30% a quantidade de clínquer na composição do cimento (JOHN; PILEGGI, 2013 apud ALISSON, 2013).

Além de um padrão controlado do tamanho de grãos, as partículas de *filler* de pó de calcário e clínquer precisam receber aditivos químicos dispersantes, como policarboxilatos, que impedem que elas se aglomerem e formem grumos na água. Como consequência disso, o dispersante reduz a quantidade de água e de cimento necessário para misturar à areia e pedra para produzir e desempenhar o papel de “cola” no concreto usado na indústria da construção civil (JOHN; PILEGGI, 2013 apud ALISSON, 2013).

Desta forma é possível reduzir a quantidade de cimento de argamassa pelo cimento com maior teor de *filler* moído e a resistência do material não cai. Estudos estão sendo realizados para demonstrar que a resistência não depende do cimento (JOHN; PILEGGI, 2013 apud ALISSON, 2013).

A adição de pó de calcário permitiria à indústria dobrar a produção de cimento, sem a necessidade de construir mais fornos ou produzir mais clínquer. Entretanto a tecnologia para moer partículas com granulometria controlada já existe, mas nunca ninguém a operou na escala da indústria cimenteira (JOHN; PILEGGI, 2013 apud ALISSON, 2013).

5.1.3 Agregados

O termo “agregados para a construção civil” é empregado no Brasil para identificar um segmento do setor mineral que produz matéria-prima mineral bruta ou beneficiada de emprego imediato na indústria da construção civil. São basicamente a areia e a rocha britada (Figura 6).

Minerações típicas de agregados para a construção civil são os portos-de-areia e as pedreiras, como são popularmente conhecidas. Entretanto, o mercado de agregados pode absorver produção vinda de outras fontes (VALVERDE, 2001).

Diferentes resíduos vêm sendo estudados como agregados para o concreto, tais como: resíduos da construção civil, escória granulada de alto forno, cinza volante, sílica ativa, poliestireno, garrafa PET triturada, chifre de boi, fibra de vidro e borracha de pneu.

Estudos já realizados apontam que o concreto com agregados reciclados podem ser aplicados de diferentes formas, desde concretos de baixa resistência a concretos de alta resistência, além de argamassas.



Figura 6: Agregados

Fonte: GRUPOALEIXO

5.1.3.1 Agregado com Resíduos de Construção e Demolição (RCD)

Agregado reciclado pode substituir parcialmente o agregado natural, para o mesmo traço, sem perda de resistência e com alteração pequena na relação água/cimento (ALBUQUERQUE; GONÇALVES, 2010). A reciclagem do RCD para a produção de agregados reciclados tem se tornado uma prática cada vez mais comum, particularmente em cidades onde há uma inacessibilidade ou escassez de agregados naturais, proporcionando altos custos para adquiri-los (CABRAL et al, 2009).

Nas obras, cerca de 50% do que sai como resíduo é do tipo classe A, que pode ser usado para formar agregado reciclado. Esses resíduos são inerte, se tiverem a finalidade de ser misturados em uma argamassa ou em um concreto, por exemplo, não impactarão negativamente se usados nas proporções corretas. A NBR 15116 aponta o uso dos agregados reciclados limitado à classe de concreto C 15, não estrutural. Já a NBR 15115 aponta o uso em camadas de pavimentação com algumas restrições (CORSINI, 2011).

Para garantir a origem e a qualidade do material, o fator decisivo para a reciclagem dos agregados é alterar o processo de demolição para o de desconstrução de estruturas (CORSINI,

2011). O sistema de reciclagem de resíduo de construção é feito nas chamadas usinas recicladoras, onde são primeiramente feitas a retirada de componentes como ferro, madeira, plástico e papel, os quais são reciclados para outros fins, e materiais que eventualmente demandem mais cautela na reciclagem, como o gesso (MOTTA; BERNUCCI; MOURA, 2004). Os itens reciclados são: areia, pedrisco, britas I e II, rachão e bica corrida com e sem agregados de cerâmica (CORSINI, 2011).

A primeira vantagem no uso de reciclados é a financeira. O material custa entre 15% e 30% menos que na pedreira e os insumos reciclados poderiam ser mais baratos caso houvesse incentivo fiscal. Pois o mesmo imposto sobre o produto que é pago pela pedreira, já teve seu imposto coletado (CORSINI, 2011).

Portanto as dificuldades em se obter um material não contaminado são muitas. Pois a contaminação ocorre tanto nas caçambas colocadas nas ruas, como na própria obra em que os resíduos são jogados por uma tubulação diretamente para a caçamba sem uma seleção prévia (JOHN, ÂNGULO, 2003)

Deve-se levar em consideração que em situações em que existe grande oferta de agregado natural, de alta qualidade e a preços reduzidos, essa reciclagem não é economicamente viável, a menos que exista um custo muito elevado de deposição de resíduos de construção e não existam outras alternativas de uso para o agregado reciclado (JOHN, ÂNGULO, 2003).

Na incorporação de materiais granulares reciclados de construção e demolição, em substituição ao agregado miúdo natural, tem-se como conclusão geral que a presença desses materiais, em matrizes cimentícias de argamassa e concreto provocam alterações no comportamento dos concretos e argamassas nos estados fresco e endurecido e que esses agregados poderiam perfeitamente ser utilizados na substituição de agregados naturais. Por outro lado, existem algumas restrições e cuidados na utilização dos materiais reciclados analisados de acordo com os parâmetros de dosagem e as propriedades das misturas (PEDROZO, 2008).

5.1.3.2 Agregado siderúrgico ou escória de aciaria

A escória de aciaria é um coproduto do processo de fabricação do aço, originando-se na operação de separação do banho metálico (aço) do banho de escória, e sendo constituída pelas impurezas contidas na carga metálica e nos aditivos e fluxantes (Figura 7).

Do total de resíduos e coprodutos gerados da siderurgia, os agregados siderúrgicos representaram o maior percentual, 60%. Cerca de 80% do total de agregados siderúrgicos foram comercializados, principalmente para a produção de cimento e para uso como base e sub-base de estradas (Siderurgia Brasileira, 2008).



Figura 7: Escória de aciaria

Fonte: GREENMETALS

A porcentagem exata de escória de aciaria gerada por tonelada de aço líquido produzido varia de usina para usina, dependendo da mistura utilizada na fabricação do metal e dos procedimentos adotados. A variação entre usinas modernas não é discrepante, entretanto, em média a geração de escória nas usinas nacionais corresponde a aproximadamente 12% da produção de aço líquido das mesmas (TEIXEIRA; SOLLERO, 2009).

Segundo Lima e Castro (2010) o material é de grande qualidade e substitui com vantagens os outros recursos, pois a escória é de fácil manuseio e apresenta coesão (JVA, 2010). Além de não poluir, o preço do agregado é em média 50% menor que o da brita, e é mais resistente. Quando o agregado siderúrgico é utilizado para pavimentação, suas características garantem maior economia de material. Em comparação com outros produtos, ele apresenta maior durabilidade e resistência (METALICA, 2013).

5.1.3.3 Agregado com cinzas do bagaço de cana

A substituição de 30% a 50% em massa da areia natural atualmente utilizada na preparação de argamassa e concreto pela cinza do bagaço de cana (Figura 8), não apenas preserva as características físicas e mecânicas de um concreto de boa qualidade, mas também traz benefícios. Nessa faixa de substituição, o concreto feito com cinzas pode ter um ganho de resistência 20% superior ao concreto convencional (SALES; LIMA, 2010).

Com uma possível troca de materiais, a retirada de areia dos leitos dos rios, que vem sendo dificultada por questões ambientais, poderia diminuir significativamente. Além disso, estima-se que, se o concreto realmente for ao mercado, deverá ser 10% a 12% mais barato, devido ao baixo

custo da cinza da cana-de-açúcar e à diminuição do volume de cimento no concreto (SALES; LIMA, 2010).

Segundo Souto (2010), o emprego de apenas 20% de cinza de bagaço de cana na produção do cimento evitaria o lançamento de aproximadamente 600.000 toneladas de CO₂ na atmosfera.

A cinza de bagaço de cana-de-açúcar promove o aumento da resistência à compressão do concreto com fator a/c (relação entre o peso da água e do cimento) acima do empregado na amostra de referência. Ela pode ser empregada com o intuito de reduzir o consumo de cimento para uma mesma resistência (SOUTO, 2010).



Figura 8: Bagaço de cana armazenado
Fonte: PINWEB

5.1.3.4 Agregado com cinzas de cascas de arroz

O emprego da cinza residual de casca de arroz (Figura 9) em substituição ao cimento *Portland*, até o teor de 20%, proporciona incrementos significativos nos valores de resistência à compressão, tanto para os concretos de resistência convencional quanto para os de alta resistência. (CORDEIRO; TOLEDO, FAIRBAIRN, 2009)

Nenhum outro resíduo da agricultura produz tanta quantidade de cinzas quando queimado quanto o arroz. A cinza de casca de arroz é uma excelente pozolana, com desempenho comparável ao da sílica ativa (resíduo da fabricação do ferro-silício e/ou do silício metálico) (PRUDÊNCIO JR; SANTOS; DAFICO, 2003).

Uma possível justificativa dela não ser muito utilizada para produção de concreto tanto no Brasil e no exterior, pode ser atribuído ao fato de que as cinzas de boa atividade pozolânica geralmente possuem teores elevados de carbono (acima de 5%), produzindo uma coloração cinza-escuro no concreto, pouco aceita no mercado consumidor. Além disso, a presença desse tipo de

cinza faz com que as argamassas e concretos com ela produzidos possuam uma coesão excessiva (PRUDÊNCIO JR; SANTOS; DAFICO, 2003).

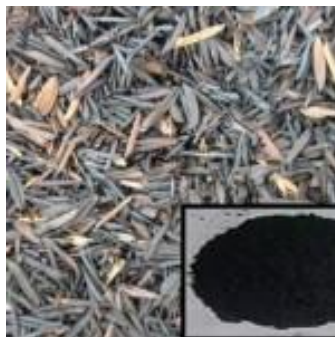


Figura 9: Casca de arroz e cinzas de cascas de arroz
Fonte: CIMENTOITAMBE

5.1.3.5 Agregado com cinzas volantes

Na operação de usinas termelétricas, 100 toneladas de carvão mineral geram cerca de 42 toneladas de cinzas - 70% são as chamadas cinzas secas ou volantes, e 30%, cinzas úmidas ou pesadas. Devido às suas características físico-químicas, a cinza seca (Figura 10) é vendida às cimenteiras e concreteiras, mas as cinzas pesadas não têm esse mercado, elas são eliminadas em bacias de sedimentação, gerando um problema ambiental (ROCHA, 2003).



Figura 10: Cinza volante
Fonte: CRUSHERINC

Pesquisas realizadas pelo programa Habitare avaliaram o aproveitamento dessas cinzas em blocos de concreto pré-fabricados, na substituição tanto do cimento como da areia fina e em

argamassas, para revestimento de parede e assentamento de azulejos, assim como na produção de briquetes para pavimentação (ROCHA, 2003).

Os resultados mostram que blocos produzidos com adição de cinzas podem apresentar resistência superior e às vezes maior durabilidade que os blocos convencionais, usados como parâmetro nos testes. E estudos de viabilidade econômica indicam que os componentes com adição de cinzas podem ter custo até 40% inferior aos convencionais. A tecnologia está pronta pra ser repassada ao setor produtivo (ROCHA, 2003).

As cinzas volantes em concreto, segundo John e Ângulo (2003), possuem vantagens competitivas como:

- Aumento da durabilidade em ambientes contaminados com íons cloreto e sulfatos;
- Redução do calor de hidratação para grandes volumes de concreto;
- Redução da fissuração térmica;
- Aumento da resistência;
- Aumento da trabalhabilidade;
- Menor impacto ambiental.

Embora as cinzas volantes tragam vários benefícios ao concreto, o seu emprego ainda é tímido em alguns países. Enquanto na Europa a adição ao concreto alcança os 40%, no Brasil e nos EUA esse percentual não ultrapassa os 20% (ÂNGULO; ZORDAN; JOHN, 2001).

5.1.3.6 Agregado com cerâmica vermelha

A cerâmica vermelha (Figura 11), proveniente de restos de tijolos e telhas cerâmicas utilizadas nas construções, equivale a uma considerável parcela dos resíduos da construção civil.

O pó cerâmico obtido pela moagem de resíduos de blocos de indústrias de cerâmica vermelha, segundo Araújo Jr e Rondon (2009), apresentam boas propriedades mineralógicas e atividade pozolânica, assim como propriedades mecânicas satisfatórias. Por isso, é possível afirmar que há condições de se utilizar o produto da moagem desses resíduos em argamassas e concretos. As argamassas com proporções de 70% a 80% de seu volume de sólidos em pó são as que apresentam resultados mais satisfatórios. Contudo, é necessário realizar ensaios com concreto para avaliar melhor o comportamento do material, uma vez que é incerto que a atividade pozolânica do pó foi o único fator a contribuir para o incremento da resistência à compressão.



Figura 11: Tijolos e telhas de cerâmica vermelha

Fonte: BONFANTI

As simulações utilizando modelos matemáticos realizadas por Cabral et al (2009) apontaram que a substituição do agregado miúdo natural pelo miúdo reciclado de cerâmica vermelha resulta em um acréscimo da resistência à compressão dos concretos produzidos, porém para a substituição do agregado graúdo natural pelo graúdo reciclado, um decréscimo. Para as demais propriedades do concreto estudadas, observou-se que a utilização dos agregados reciclados, tanto graúdo quanto miúdo, influi negativamente no comportamento do concreto, sendo que o agregado do tipo graúdo reciclado exerceu em todas as propriedades, uma maior influência.

5.1.3.7 Agregado com pneu inservível

Pneus inteiros ou processados podem ser usados em obras de engenharia no lugar de materiais de construção convencionais (Figura 12). Nos últimos 10 anos, nos Estados Unidos, as aplicações na Engenharia Civil aumentou de 500 mil pneus/ano para 40 milhões de pneus/ano (RMA, 2002 apud KAMIMURA).



Figura 12: Centros de coleta e destinação de pneus inservíveis

Fonte: RECICLANIP

Segundo o Laboratório de Química do Estado Sólido, da UNICAMP (LQES, 2001 apud KAMIMURA), foi iniciada uma pesquisa com uso de pneus na substituição de agregados adicionados ao concreto, visando à obtenção de um material de construção mais flexível. O concreto flexível seria mais resistente ao impacto e, também, melhor isolante térmico e acústico que o concreto convencional. Além disso, apresentaria densidade reduzida e melhores propriedades de drenagem (BENSON, 1995).

5.1.3.8 Agregado com vidro

Segundo o Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE, 2013), no Brasil é produzido em média 980 mil toneladas de embalagens de vidro por ano, usando cerca de 45% de matéria-prima reciclada na forma de cacos (Figura 13). Uma alternativa sustentável para reduzir o volume de vidros depositados em lixões seria utilizá-los na construção civil, incorporados em misturas à base de cimento, tais como na produção de concretos com sucata de vidro moído em substituição à areia. Países como Austrália e EUA utilizam e recomendam a utilização de vidro moído proveniente do lixo para o uso em concretos.

Estudos mostram que a substituição de areia por vidro, no teor de 20%, não altera significativamente a resistência à compressão à temperatura ambiente. Entretanto, à 600 °C observou-se uma redução na resistência. Destaca-se que o vidro tem sílica em sua composição química e, diante disto, a mistura deste material com cimento pode desenvolver uma reação entre os álcalis do cimento com a sílica do vidro que em presença de umidade pode gerar um gel expansivo prejudicial ao concreto (RIGHI et al, 2011).



Figura 13: Vidros reciclados que serão moídos para serem misturados a outros componentes

Fonte: FOLHA

5.1.4 Madeira

A madeira produzida de forma adequada e legal é considerada um material sustentável, pois a exploração de florestas para produção de madeiras em bens duráveis, como estruturas de edificações, postes, cercas, móveis, pisos e revestimentos constituem um mecanismo de remoção e fixação do carbono, contribuindo para a diminuição do aquecimento global. A compra de madeiras certificadas é uma garantia de legalidade (ROMAGNANO, 2010).

No Brasil existem diversas organizações que realizam programas de certificação e controle de madeiras, dentre elas (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2007):

- FSC (*Forest Stewardship Council*), que garante o consumo de madeira com padrões ambientalmente corretos, socialmente justo e economicamente viável (Figura 14).
- Cerflor (Programa Brasileiro de Certificação Florestal), desenvolvido dentro da estrutura do Sinmetro, que tem como órgão que estabelece suas políticas o Conmetro e como órgão executivo central o Inmetro, que é o órgão oficial gerenciador de programas federais de avaliação da conformidade, dentre eles o Cerflor. A ABNT é o órgão responsável pela elaboração e revisão das normas do Cerflor.
- IBAMA, que, pelo DOF (Documento de Origem Florestal), concede a licença obrigatória para o controle do transporte e armazenamento de produtos e subprodutos florestais de origem nativa, contendo informações de procedência destes produtos.



Figura 14: Madeira certificada

Fonte: REDEGLOBO

Estruturalmente a madeira apresenta elevada resistência, principalmente quando comparada com o seu peso, que quando aplicada nos edifícios ajuda a reduzir o tamanho das fundações e o efeito da ação sísmica. Tem durabilidade, isolamento térmico, acústico e elétrico excepcional,

quando cumpridas as boas condições de manutenção, isto é, mantendo-a arejada e seca. A textura e a cor da madeira tornam-na também, num material esteticamente agradável e isso aliado à grande liberdade de escolha de formas, permite aos arquitetos uma grande variedade de escolha das soluções a adotar (MARQUES, 2008).

O efeito ambiental total, calculado através da soma entre efeitos ambientais embutidos e efeitos ambientais de manutenção, mostra que, em um período de uso de vinte anos, as edificações em aço e as edificações em concreto embutem e consomem a mais que edificações em madeira, como pode ser observado na tabela 1:

Tabela 1: Aumento do consumo: Madeira X Aço e Concreto

| Impactos | Aço | Concreto |
|------------------------|-----------------|-----------------|
| Energia operacional | 12% ou 2,5 anos | 20% ou 5,5 anos |
| Gases do efeito estufa | 15% ou 3,5 anos | 29% ou 8,5 anos |
| Poluição do ar | 10% | 12% |
| Dejetos sólidos | 6% | 16% |
| Recursos em peso | 7% | 50% |
| Poluentes na água | 3 vezes | 2,25 vezes |

Fonte: GONZAGA, 2005

A implantação de medidas visando o uso racional e sustentado da madeira deve considerar desde a minoração dos impactos ambientais da exploração florestal centrada em poucos tipos de madeira, passando pelas medidas para diminuição de geração de resíduos e reciclagem dos mesmos, até a ampliação do ciclo de vida do material pela escolha correta do tipo de madeira e pelos procedimentos do seu condicionamento, como secagem e preservação (IPT; SECRETARIA DO VERDE E DO MEIO AMBIENTE; SINDUSCON, 2009).

A madeira é considerada um material renovável, que quando utilizada em aplicações de longa vida útil é considerada um estoque de carbono, tem impactos associados ao transporte, ao beneficiamento, à aplicação de biocidas ou preservativos e, possivelmente, a constantes repinturas ao longo da sua vida útil. Tratamentos com a autoclave a vácuo é uma solução para evitar este impacto. Madeiras que receberam aplicação dos biocidas, por exemplo, transformam-se em resíduos que não podem ser queimados sem controles especiais (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2010). Portanto é preciso atentar-se na hora do seu descarte, principalmente quando está é utilizada como combustível, pois quando queimadas, liberam arsênico e gera cinzas contaminadas (AGOPYAN, JOHN, 2011).

Para obras menores, recomenda-se usar elementos não químicos, como esterco, creosote ou borax, que podem ser dissolvidos em água para facilitar o tratamento das peças de madeira. Pode-se utilizar também nata de cal, cera de abelha, ou óleo de linhaça que são usados sem diluição. No caso de usar produtos químicos, estes devem ser evitados de serem utilizados para tratar madeira no interior das construções (LENGEN, 2004).

Outro problema existente é baixa qualidade da madeira durante a construção, principalmente para as formas de concreto. Além delas serem tratadas com formicidas tóxicos ou colas com benzeno, há um desperdício muito grande. As madeiras podem ser recicladas, mas na maioria das vezes, são descartadas irregularmente.

5.1.5 Bambu

O bambu serve para muitas utilidades na construção, ele é usado na estruturação como lastro, pilar, viga, caibro, ripa, telha, dreno, piso e revestimento, sombreamento, quebra-vento, proteção contra a erosão, tubo para condução de água, drenagem, divisórias, forros e esteiras (Figura 15).



Figura 15: Teto de bambu do aeroporto de Madrid

Fonte: BLOGNEOBAMBU

As vantagens do bambu sobre o concreto e o aço (BERALDO, 2007 apud TIRELLI, 2007) são:

- Matéria-prima disponível e renovável;
- Alta produtividade: 10 ton/ he/ano
- Fácil manejo, pode ser produzido em áreas inóspitas e degradadas;

- Leve e flexível;
- Facilidade de transporte e trabalhabilidade
- Possui características de isolamento térmico e acústico;
- Peças curtas de bambu podem suportar tensões superiores a 50 MPa, enquanto o concreto usual apresenta um terço desse valor;
- O concreto apresenta densidade três vezes superior à do bambu;
- O módulo de elasticidade do bambu situa em torno de 20.000 MPa, cerca de um décimo do valor do aço;
- Cabos de bambus trançados oferecem resistência similar ao aço, e pesam apenas 10% do metal.
- Custo reduzido de produção

Assim como qualquer outro material natural, o bambu possui algumas exigências para a sua utilização na construção civil. Devem-se usar os bambus maduros, com cerca de três a quatro anos, que é quando atingiram sua resistência ideal. Estudos mostram que a resistência à compressão e a tração do bambu aumenta quando ele possui por volta de seis anos e a resistência à flexão máxima em torno dos oito anos (30MPa a 170MPa). Os bambus cortados antes de atingirem o ponto máximo de maturação tornam-se mais vulneráveis aos insetos e fungos e sua vida útil será menor. Dentre as espécies mais utilizadas no setor da construção civil, destacam-se: guadua, gigante e mossô; as varas sempre devem ter mais de 10 cm de diâmetro (NOGUEIRA, 2009).

Para atingir seu máximo desempenho, alguns cuidados devem ser tomados com a colheita, cura, secagem, proteção contra inimigos naturais e tratamento. Segundo publicações das Nações Unidas (1972) apud Nogueira (2009), para reduzir ao mínimo os ataques de insetos deve-se efetuar o corte dos bambus com níveis mais baixos de concentração de amido. No inverno o bambu guarda a maior parte de suas reservas nas raízes (rizomas), e nesta época do ano os insetos e fungos aparecem com menos frequência, portanto é a época ideal para corte. Além disso, o teor de umidade pode ser muito alto no inverno, provocando alguns defeitos na secagem, como fissuras, rachaduras e deformações. As fissuras ocorrem somente nos entrenós, e são menores que as rachaduras e podem inutilizar a peça toda. Já as deformações são as torceduras do bambu no sentido longitudinal da peça (NOGUEIRA, 2009).

Por isso o tratamento é muito importante para assegurar o desempenho, resistência e longevidade da peça e consiste em utilizar produtos químicos preservativos para proteger o bambu, pois a falta de tratamento compromete o desempenho favorecendo o apodrecimento por fungos, o ataque de insetos e as rachaduras. Entretanto, deve-se tomar devida atenção aos tipos de tratamentos

existentes, pois os processos mais econômicos são os que utilizam produtos altamente tóxicos (NOGUEIRA, 2009).

Devido a falta de informações sobre o bambu, seu alto teor de sílica e o fato dele ser oco, induzem a escolha de outros materiais, mesmo os não amigáveis ao ambiente, para usos generalizados. Porém o bambu é um material oportuno e adequado (NOGUEIRA, 2012 apud AGUIAR, 2012).

O bambucon é um material misto composto de bambu preenchido com microconcreto armado que possui as vantagens dos dois materiais num só elemento. Uma pesquisa realizada pela Universidade Federal de Minas Gerais o bambu trabalhou muito bem como reforço das estruturas de concreto. Ele apresentou uma dependência estreita com a resistência do concreto, motivo pelo qual foi concluído que o bambu trabalhou efetivamente como fôrma deste material, mesmo apresentando boa flexibilidade a compressão e flexão (NOGUEIRA, 2009).

As desvantagens do bambu é que por ser um material natural, cada colmo é único e sua forma tronco-cônica apresenta variação de secção ao longo do colmo. Ele possui baixa durabilidade natural, possui variações consideráveis em presença de umidade, baixa aderência a aglomerantes e outros materiais, seções reduzidas, conexidade e variabilidade das propriedades físico-mecânicas dos colmos em função da amostragem. Possui, também, presença inibidora a pega do cimento e dificuldade de efetuar ligações (NOGUEIRA, 2009).

5.1.6 Terra

Existem diversas técnicas construtivas utilizando a terra como matéria prima principal em várias regiões do Brasil, como a taipa, o adobe (tijolo cru) e os blocos ou tijolos de solo-cimento.

As vantagens da terra, segundo Pisani (2007) são:

- A terra crua regula a umidade ambiental: o barro possui a capacidade de absorver e perder mais rapidamente a umidade que os demais materiais de construção;
- A terra armazena calor;
- As construções com terra crua economizam muita energia e diminuem a contaminação ambiental. As construções com terra praticamente não contaminam o ambiente, pois para prepará-las necessita-se de 1 a 2% da energia despendida com uma construção similar com concreto armado ou tijolos cozidos;
- O processo é totalmente reciclável: as construções com solo podem ser demolidas e reaproveitadas múltiplas vezes. Basta fragmentar e voltar ao processo de preparo da massa de terra;

- Minimiza a agressão ao ambiente, pois, além de utilizar solo natural e uma quantidade menor de cimento, não necessita de queima, uma vez que os tijolos são apenas prensados.

Quase todos os tipos de terra servem para a construção, entretanto, como sua composição varia na proporção de areia e argila, às vezes é preciso misturar diversos tipos de terra do mesmo terreno. Assim como qualquer outro material, é preciso fazer testes antes de usa-lo, por exemplo, testes de sedimentação, contração e resistência, evitando possíveis rachaduras e trincas (LENGEN, 2004).

Contudo, as desvantagens da utilização da terra na construção é que ela não é um material de construção padronizado, pois sua composição depende das características geológicas e climáticas da região. Podem variar sua composição, resistências mecânicas, cores, texturas e comportamento. Para avaliar essas características são necessários ensaios que indicam as providências corretivas para corrigi-las com aditivos. As construções com terra crua são permeáveis e estão mais suscetíveis às águas, sejam pluviais, do solo ou de instalações. Para sanar esse problema é necessária a proteção dos elementos construtivos, ou com detalhes arquitetônicos ou com materiais e camadas impermeáveis. Além disso, há retração, pois o solo sofre deformações significativas durante a secagem, gerando fissuras e trincas (PISANI, 2007).

5.1.6.1 Tijolo de solo-cimento

O tijolo de solo-cimento é um tijolo composto por terra (areia argilosa), água e um pouco de cimento (entre 8% e 10% da sua composição) e comprimido em prensas mecânicas (Figura 16). Eles são vendidos inteiros ou pela metade, para evitar o desperdício (ECOD, 2010).



Figura 16: Tijolo solo-cimento

Fonte: ENGENHARIAE; ECO CASA

O tijolo solo-cimento possui as seguintes vantagens:

Quadro 2: Vantagens do tijolo solo-cimento

| Aumenta | Reduz | Elimina |
|---------------------------|--|--|
| Isolamento térmico | Uso de acabamento | Queima |
| Isolamento acústico | Uso de ferro e concreto nas vergas, cintas e grautes | Uso de madeira, estribos, arames e pilares |
| Mão de obra especializada | Quebras, desperdícios e entulho na obra | Rasgos para embutir instalações |
| | Custo da final obra (até 30%) | |
| | Umidade interna | |
| | Tempo | |
| | Custo | |
| | Mão de obra | |

Fonte: MIELI; ECOD

A técnica para se construir com o tijolo de solo cimento precisa de mão de obra especializada. Logo os pedreiros e mestres de obra precisam ter a vontade de aprender e a abertura para se desprender dos conceitos da alvenaria tradicional, já que todas as paredes, externas e internas, ficam com o tijolo à vista, não havendo o reboco para o arremate das imperfeições. Esta técnica exige controle de qualidade eficiente tanto dos materiais empregados como do componente alvenaria. E o usuário não tem a mesma flexibilidade para remover paredes a fim de se aumentar um determinado ambiente como no caso de uma estrutura convencional (BIOESTRUTURA, 2013).

5.1.7 ISOPET

Os blocos ISOPET intertravados (Figura 17) são blocos confeccionados em concreto leve com isopor (EPS) reciclado, utilizando garrafas plásticas inteiras recicladas, posicionadas na horizontal ou na vertical. Estes blocos apresentam encaixes laterais em forma de macho e fêmea (saliências e reentrâncias) que geram o intertravamento dos blocos, não sendo necessária a utilização de argamassa para suas uniões, exceto na primeira fiada (AGUIAR et al, 2012).

Com a utilização deste bloco, será consideradamente reduzida a extração de materiais naturais, como a areia. Racionalizando desta forma o processo construtivo e reduzindo o consumo de energia elétrica, humana e mecânica, ganhando assim em qualidade e produtividade. Além disso, eles apresentam grandes vantagens na execução de um projeto construtivo, pela sua leveza,

facilitando o manuseio dos elementos, pelo baixo custo final da construção, melhorias no aspecto termo acústico (AGUIAR et al, 2012).



Figura 17: ISOPET

Fonte: TIOGEGECA

5.1.8 Tubopet

Os tubopet são tubos para a rede de esgoto predial a partir de flocos obtidos na reciclagem de embalagens PET (Figura 18). Os tubos de PET são mais leves em relação aos de PVC de mesma espessura e permitem adesão convencional, de PET com PET, PET com PVC, e PET com anel. Além de superar o PVC em algumas características técnicas. O novo produto ainda é 15% mais barato (SINO, 2003).



Figura 18: Tubopet

Fonte: PLASTICO.COM

Os tubos passaram por análises de classe de rigidez, ensaios de temperatura de amolecimento, e resistência ao impacto por queda de dardo. Os resultados isentam os produtos de trinca, rasgo, delaminação ou ruptura nas amostras para análise de classe de rigidez, e também

comprova que os tubos atendem às exigências da norma NBR 5688-99 para resistência ao impacto, sem qualquer falha. Segundo a EBR (Empresa Brasileira de Reciclagem), responsável pelo projeto, a rigidez do tubopet é até duas vezes maior que seu equivalente em PVC, e sua aplicação é exatamente igual à de tubos de PVC, inclusive a união dos tubos é feita com a mesma cola. Os tubos são fabricados com base nas especificações da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) para os dimensionais, ou seja, diâmetro interno e externo, e espessura; para resistência à temperatura; e também para pressão interna e resistência ao impacto (SINO, 2003).

Segundo a Associação Brasileira dos Fabricantes de Embalagens de PET (Abepet), a reciclagem do PET pós-uso cresce muito, cerca de 30% ao ano. Dentre todas as resinas, é a que mais se expande, a despeito de toda dificuldade para obtenção de matéria-prima de qualidade, ou seja, sucata com baixo índice de contaminação. Entretanto, a produção requer ferramentais especiais e um maquinário diferencial (SINO, 2003).

5.1.9 Gesso

O processo produtivo do gesso é relativamente simples e envolve baixo custo energético em relação a outros aglomerantes. A reversibilidade de suas reações de transformação possibilita a reciclagem do material, o que aumenta a possibilidade de reintegração no processo produtivo, minimizando os impactos ambientais de produção (PINHEIRO, 2011).

Esse resíduo é considerado pelas Resoluções 307/2002 e 431/2011 do CONAMA, como resíduo de Classe B, resíduo reciclável para outras destinações, sendo grande o seu potencial de reciclagem. Entretanto a deposição inadequada do resíduo de gesso pode contaminar o solo e o lençol freático, devido às características físicas e químicas do material, que, em contato com o ambiente, pode se tornar tóxico. O resíduo do gesso é constituído de sulfato de cálcio di-hidratado. A facilidade de solubilização promove a sulfurização do solo e a contaminação do lençol freático (PINHEIRO, 2011).

A sua deposição do resíduo em aterros sanitários comuns não é recomendada, pois além de tóxico, a dissolução dos componentes do gesso pode torná-lo inflamável. O ambiente úmido, associado às condições aeróbicas e à presença de bactérias redutoras de sulfato, permite a dissociação dos componentes do resíduo em dióxido de carbono, água e gás sulfídrico, que possui odor característico de ovo podre. A incineração do gesso também pode produzir o dióxido de enxofre, um gás tóxico. As possibilidades de minimizar o impacto ambiental, portanto, são a redução da geração do resíduo, a reutilização e a reciclagem. O gesso pode ser reciclado

indefinidamente, entretanto ainda não existem usinas de reciclagem de gesso no Brasil (PINHEIRO, 2011).

Do ponto de vista do comportamento estrutural e da sustentabilidade as vedações em alvenaria em blocos de gesso em relação às construídas com blocos cerâmicos argamassados mostram as seguintes vantagens:

Quadro 3: Vantagens da alvenaria com gesso

| Aumenta | Reduz |
|--|---|
| Resistência | 30% de concreto da fundação |
| Rigidez | 15% das armaduras da superestrutura |
| Comportamento no travamento das movimentações horizontais da estrutura | 16% de energia interna incorporada dos materiais utilizados na estrutura |
| Leveza | 63% de energia elétrica utilizada na mistura e transporte interno dos materiais |
| | 53% de água |

Fonte: SOBRINHO et al 2009

O uso do gesso na construção civil ganhou impulso com a introdução da tecnologia *drywall* nas vedações internas de todos os tipos de edificações (Figura 19). As chapas para *drywall* são produzidas por meio de um processo de laminação contínua de uma mistura de gesso, água e aditivos prensada entre duas lâminas de cartão, segundo as normas técnicas da ABNT. (DRYWALL, 2009).



Figura 19: Teto e paredes de drywall

Fonte: ISOLINE

Segundo a Associação Brasileira de *drywall*, as vantagens das chapas de gesso são:

- Atua como regulador do clima, mantendo o grau de umidade do ambiente em equilíbrio;
- É um isolante térmico e acústico natural;

- Não é inflamável, proporcionando proteção contra o fogo;
- É inodoro, livre de gases tóxicos;
- Não é agressivo à pele, daí ser aprovado para uso biológico;
- Tem baixa densidade e alta consistência;
- É eletricamente neutro;
- Não forma fibras nem poeira;
- Não tem efeito cumulativo no organismo, pois é eliminado na urina.

5.1.10 *Steel Frame e Wood Frame*

O Sistema CES, Construção Energética Sustentável, conhecida como Construção Seca, é amplamente utilizado em países desenvolvidos como Estados Unidos e Canadá, aonde mais de 90% das casas são construídas em CES. A principal característica desse sistema é o uso de uma estrutura de perfis leves de aço (*Steel Frame*) ou de madeira (*Wood Frame*), contraventadas com placas estruturais LP OSB Home, que unidos funcionam em conjunto, dando rigidez, forma e sustentação à edificação (LP Building Products, 2013) (Figura 20).



Figura 20: Casas construídas com *Steel frame e Wood frame*

Fonte: CONSTRUIRJA; CATALOGODEARQUITETURA

As estruturas de madeira ou aço em conjunto com as placas estruturais LP OSB Home permitem a construção de edificações leves tão resistentes quanto às de concreto. Por ser extremamente flexível, o sistema CES permite a utilização de qualquer tipo de acabamento exterior e interior, pode ser aplicado em qualquer estilo arquitetônico até cinco pavimentos (LP Building Products, 2013).

O CES transmite de forma clara as principais características da construção:

- Energitérmica: pelo ótimo desempenho térmico da edificação e pelo ganho na economia de energia, tanto durante o processo construtivo, bem como, após a ocupação do imóvel.
- Sustentável: devido ao uso de materiais ecológicos, como o OSB, melhor eficiência energética do sistema, ótimo desempenho térmico e acústico, redução do desperdício de materiais, menor geração de resíduos (menos de 1%), redução de consumo de água e baixa emissão de CO₂.

Quadro 4: vantagens do *Steel Frame* e *Wood Frame* em comparação aos processos convencionais:

| Reduz | Detalhes |
|----------------------------------|---|
| Desperdício de materiais | Desperdício abaixo de 1% enquanto o sistema convencional tem perdas de até 30% |
| Manutenção | Maior facilidade e praticidade, evitando as tradicionais reformas, além da redução de custos de manutenção em 1/3 quando comparado ao sistema |
| Emissão de CO ₂ | Emite aproximadamente 5 vezes menos CO ₂ |
| Tempo de execução | Prazo de execução até 60% no tempo |
| Custos | Devido ao menor prazo de execução, racionalização da mão-de-obra e de materiais, maior produtividade, maior fidelidade ao orçamento, menor custo de fundação por ser uma construção leve e com sistema de distribuição de cargas uniforme e redução dos custos indiretos reduz custo em até 30% |
| Consumo de energia | |
| Aumenta | Detalhes |
| Organização do canteiro de obras | Como a estrutura pode ser industrializada, a presença de grandes depósitos de areia, brita, cimento, madeiras e ferragens são eliminada do canteiro. Oferecendo melhores condições de segurança ao trabalhador, contribuindo para a redução dos acidentes na obra |
| Versatilidade | Por ser extremamente flexível, aceita qualquer tipo de acabamento exterior e interior, permitindo diversos estilos arquitetônicos |
| Resistência | O sistema é constituído de perfis contraventados com painel LP OSB Home confere resistência superior ao sistema convencional, resistindo a ventos de até 300 km/h |
| Desempenho térmico e acústico | Redução no consumo com equipamentos de condicionamento do ar |
| Maior área útil | As seções das paredes e estruturas são mais finas do que as equivalentes em alvenaria, ampliando o espaço interno em até 4% da área útil da edificação |
| Fidelidade Orçamentária | Por ser um sistema inteligente, o orçamento previsto é igual ao realizado |
| Durabilidade | |

Fonte: LP Building Products

5.1.11 Materiais de Mudança de Fase

Materiais de Mudança de Fase (*Phase Change Materials* – PCM) ou materiais termoativos, atuam no isolamento térmico e armazenamento de energia, por meio da utilização de parafinas microencapsuladas que podem ser dispersas em rebocos de revestimento, a fim de garantir o

conforto térmico e reduzir o consumo de energia nas edificações. Isso é possível a partir do acúmulo energético da fusão das parafinas. (OCTAVIANO, 2010)

Durante o dia o calor proveniente da radiação solar, atividade humana e funcionamento de eletrodomésticos induz a liquefação dos PCM, evitando o sobreaquecimento, enquanto à noite, a diminuição da temperatura exterior potencia a passagem ao estado sólido, favorecendo a libertação de calor (UPM, 2013).

O material, de aparência similar aos painéis de gesso é capaz de armazenar cinco vezes mais energia térmica que estes, permitindo manter uma estável temperatura de conforto, sem necessidade de recorrer a sistemas de climatização ativa. Os painéis conseguem assim consumir energia quando em excesso e repô-la quando ela está em falta, minimizando as oscilações térmicas a que está sujeito o ambiente interior do compartimento (UPM, 2013).

Os painéis de gesso com PCM, além de terem um comportamento similar ao de elementos construtivos com grande massa e inércia térmica, apresentam energias de mudança de fase elevadas, o que permite armazenar um máximo de energia num mínimo de volume. Outra grande vantagem é o fato de não serem nocivos para os seres humanos ou o meio ambiente em geral (UPM, 2013).

Uma vez que estes painéis de gesso são de aplicação interior, o aproveitamento da capacidade teórica de armazenamento térmico é superior a 90%, em oposição a elementos de fachada com PCM que permitem uma capacidade térmica útil que nunca ultrapassa os 15%. O prazo de retorno do investimento da aplicação da tecnologia em habitações correntes é de apenas um a dois anos (UPM, 2013) (Figura 21).

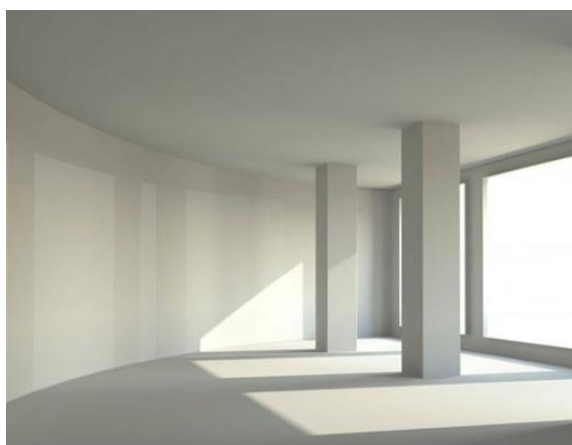






Figura 21: Sala com materiais de mudança de fase

Fonte: ENGENHARIACIVIL.COM

5.1.12 Vidros

O avanço na tecnologia permitiu o desenvolvimento de vidros de autolimpeza, de controle solar, de isolamento térmico reforçado, de alta segurança e de isolamento acústico, o que os alia à preservação ambiental. Isso reduz a necessidade de limpeza e permite economia no consumo de água e no uso frequente de detergentes. Além de que, pelo seu eficiente desempenho térmico, diminui a necessidade de equipamentos mecânicos para conforto térmico, como ar condicionado, proporcionando um menor consumo de energia (Portal da Construção Sustentável, 2013).

Quadro 5: Tecnologias relevantes de vidros e seus benefícios

| Tipo de vidro | Características | Benefícios |
|---|---|--|
| <p>Vidro laminado</p>  | <p>Vidro de segurança composto de duas ou mais lâminas de vidro fortemente interligadas, sob calor e pressão, por uma ou mais camadas de polivinil butiral (PVB) ou resina.</p> | <p>Em caso de quebra da placa laminada, os cacos permanecem presos, evitando eventuais ferimentos. Além disso, a laminação confere ao vidro função termoacústica, que se dá em função da espessura da camada intermediária (PVB ou resina). Quando produzidos com placas de vidro de controle solar, os vidros laminados tornam-se eficientes para manter o conforto térmico.</p> |
| <p>Low-e (low emissivity glass)</p>  | <p>Vidros baixo emissivos que impedem a transferência térmica entre dois ambientes. Sua eficiência vem de uma fina camada de óxido metálico aplicada em uma das faces do vidro. Essa película filtra os raios solares – intensificando o controle da transferência de temperaturas entre ambientes –, sem impedir a transmissão luminosa.</p> | <p>É um importante aliado da estética das fachadas, pois auxilia no controle solar sem criar o indesejável efeito espelho. Oferece desempenho energético, que reflete para fora principalmente as radiações no espectro do infravermelho próximo e distante. Sua refletividade externa fica entre 8% e 10% e sua transmissão luminosa, entre 70% e 80%. Para intensificar suas propriedades energéticas e até conferir características de segurança, o low-e pode ser curvo, insulado, temperado e laminado.</p> |
| <p>Vidro autolimpante</p>  | <p>Produzido a partir de um vidro comum que recebe uma película com partículas de dióxido de titânio (TiO₂). A camada de cobertura age de duas formas: na primeira, quebra as moléculas orgânicas; e, na segunda, elimina a poeira inorgânica.</p> | <p>Aproveita a força dos raios UV e da água da chuva para combater de forma eficiente a sujeira e os resíduos que se acumulam no exterior da janela. Evita a utilização intensiva de detergentes poluidores e contribui para diminuir a frequência de lavagens, gerando economia de tempo e dinheiro.</p> |
| <p>Vidro duplo ou insulado</p>  | <p>O sistema de envidraçamento duplo alia as vantagens técnicas e estéticas de pelo menos dois tipos de vidro. Entre os dois vidros, há uma camada interna de ar ou de gás desidratado – dupla selagem. A primeira selagem evita a troca gasosa, enquanto a segunda garante a estabilidade do conjunto.</p> | <p>Oferecem privacidade, aproveitamento máximo da luz natural e controle da luminosidade, isolamento térmico e acústico e grande durabilidade.</p> |

Fonte: ABRAVIDRO, 2008

5.1.13 Tintas

Os produtos usados na pintura de edifícios emitem compostos orgânicos voláteis emitidos (VOCs), que contribuem para a poluição atmosférica, afetam a saúde do trabalhador durante a fase de construção do edifício, como também reduzem a qualidade do ar presente no interior do edifício, prejudicando a saúde dos usuários, podendo levar até um ano para eliminar todos seus elementos voláteis do ambiente. Esse problema foi inicialmente identificado nos países no hemisfério norte e na Ásia, onde é comum o uso de ar condicionado, é conhecido desde o início da década de 80 como Síndrome de Edifícios Doentes (SED), reconhecida pela Organização Mundial da Saúde (UEMOTO; IKEMATSU; AGOPYAN, 2006). É preciso atentar-se que além de tintas, os VOCs podem ser encontrados em adesivos, carpetes, revestimento de pisos poliméricos, chapas de madeira, pisos de madeira, entre outros (AGOPYAN, JOHN, 2011).

Várias tecnologias estão sendo adotadas para formulação de produtos sem odor e com menor teor de VOC ou até isentos desse tipo de emissão, com elevado teor de sólidos, com redução da quantidade de solventes aromáticos, com reformulação dos solventes normalmente empregados, uso de solventes oxigenados, substituição de pigmentos à base de metais pesados, substituição de produtos de base solvente por emulsões, uso de novos tipos de coalescentes nas tintas de base aquosa e produção de tintas em pó (UEMOTO; IKEMATSU; AGOPYAN, 2006).

Produtos usados na pintura de edifícios, como as tintas látex, vernizes, esmaltes sintéticos e solventes, contêm na sua composição uma mistura de solventes, alguns com mais de 60 substâncias. Parte dessas substâncias é comumente encontrada nas formulações dos produtos, e a outra parte, provavelmente, resultado de impurezas presentes nas matérias-primas. Algumas das substâncias encontradas são consideradas nocivas à saúde das pessoas, como os solventes clorados, compostos aromáticos (benzeno, tolueno, xileno e isômeros), metil etil cetona (MEK), formaldeído, etc., e outras, sensíveis fotoquimicamente, tais como xileno, limoneno, tolueno, etanol, butano, as quais contribuem para a formação do ozônio da troposfera (UEMOTO; IKEMATSU; AGOPYAN, 2006).

As chamadas tintas ecológicas podem ser de três tipos: minerais, vegetais e com insumos animais, mas para ser classificada como ecológica, a tinta deve ter seu ciclo de vida avaliado. Muitas empresas aproveitam-se por terem um produto à base de água para caracterizá-lo como ecológico. No entanto, nestes produtos à base de água podem ser encontradas substâncias químicas como benzeno, tolueno, xileno, etanol, metanol, octano, decano, undecano, éteres de glicol, policlorobifenil, dibutil ftalato, octoato de chumbo, dentre outros (IDHEA, 2013).

No Brasil, as pinturas à base de água, contêm em torno de 2% de compostos voláteis, muito diferente das normas para tintas naturais com selo verde na Europa, que especificam teores de 0,1%.

Uma pintura à base de água sempre será menos tóxica do que uma à base de solventes, mas não significa que ela é ecológica. Qualquer tinta ecológica que se preze deve estar isenta de VOCs, além de não conter com pigmentos à base de metais pesados, fungicidas sintéticos e não conter derivados de petróleo (IDHEA, 2013).

5.1.13.1 Tintas minerais

As tintas minerais são as melhores quanto à saúde do morador e das habitações, pois permitem que ocorra a difusão do vapor d'água - permite que as paredes respirem - e como são alcalinas, não permitem que fungos e microrganismos se instalem na casa. Além disso, dão vida às edificações, ao contrário das tintas sintéticas (PVAs, acrílicas, etc.), que funcionam como plásticos. Contudo, é importante salientar, que uma parede selada com massa corrida não irá voltar a respirar com uma pintura mineral, por isso, é preciso que se aplique também uma argamassa respirante, como por exemplo, uma massa fina à base de cal ou silicato (IDHEA, 2013).

A tinta mineral é um material de alta resistência ao tempo que aceita infiltração, lavagem e não desbota, uma vez que seu pigmento é natural. A repintura geralmente se faz apenas a cada 6 ou 10 anos (ECOCASA, 2013).



Figura 22: Paleta de tintas minerais

Fonte: ECOCASA

Tintas de base mineral necessitam de uma superfície com alguma rugosidade e porosidade para uma boa ancoragem. Pois estas tintas são do tipo cimentício, isto é, endurecem sobre a superfície e não formam película, que é o caso das tintas sintéticas, que plastificam a parede. Por isso, uma pintura a cal não reage como uma tinta acrílica. A cal não é um plástico, e portanto, a superfície não fica lisa. Para que isso ocorresse, seria preciso adicionar alguma resina que

“enveloparia” a cal, eliminando seus benefícios e a respiração da parede. Adicionar cola branca com cal, faz com que a pintura perca seus benefícios e acaba funcionando apenas como carga mineral, fazendo um volume na tinta e dar alguma cobertura (IDHEA, 2013).

5.1.13.2 Tintas com PET

A indústria de tintas também possui produtos feitos com PET, utilizado na fabricação de resinas alquídicas, que substituem o anidrido ftálico, um derivado de petróleo. As tintas com a adoção de resina de PET possuem menor custo, consomem menos matérias-primas não-renováveis e diminuem em 40% a quantidade de água de reação gerada na produção de resinas (LAZZARIN apud CINTRA, 2013).

Apesar dos benefícios, tais como a retirada das garrafas PET do meio ambiente e a redução de custos para fabricantes e consumidores, há dificuldades para a utilização do material, pois o PET é usado por vários segmentos da economia, como a indústria têxtil, além de ser exportado. Com isso, houve a elevação de seu preço, que passou de R\$ 2,29 por quilo, em 2005, para quase R\$ 2,50 em 2013. Existe também a dificuldade em encontrar o material, uma vez que só podem ser utilizadas garrafas higienizadas adequadamente, para que a resina extraída seja pura. O que falta é um sistema eficiente de coleta seletiva, visto que no Brasil 51% das garrafas PET são recicladas, dados da Associação Brasileira dos Fabricantes de Embalagens de PET (Abipet), 2007, e o resto é descartado em lixões e aterros sanitários (LAZZARIN apud CINTRA, 2013).

5.2 Usos potenciais dos resíduos reciclados

A aplicação do resíduo não deve partir de ideias pré-concebidas, mas em função das características do resíduo e de suas fases e das condições de mercado locais. Como regra geral, as aplicações possíveis são aquelas que melhor aproveitam as características físico químicas que o resíduo apresenta, como um todo ou nas suas diferentes fases, para gerar um novo produto de melhor desempenho e menor impacto ambiental que as soluções tradicionais, com condições de competir em um nicho específico de mercado (ÂNGULO; ZORDAN, JOHN, 2001).

É preciso determinar qual das aplicações com potenciais técnicos possuem maior probabilidade de serem implementadas em uma situação específica de mercado e em condições de geração do resíduo, considerando qualitativamente impactos ambientais, saúde dos trabalhadores e usuários e viabilidade de mercado, o que inclui escala de produção, considerando o risco de que o processo de pesquisa não resulte em tecnologia viável (JOHN; ÂNGULO, 2003).

A viabilidade no mercado deve considerar os aspectos de investimentos necessários, custos potenciais dos processos industriais, em comparação com o valor de mercado potencial do produto final, que, em uma primeira aproximação, pode ser considerada como sendo o preço de mercado do produto concorrente (JOHN; ÂNGULO, 2003).

Outras dificuldades da construção civil sustentável são a concepção dos consumidores e técnicos da área de que produto reciclado possui qualidade inferior, a gestão de resíduos adequada de forma a simplificar o processo de reciclagem e os processos de transporte e estocagem dos resíduos gerados que afetam decisivamente sua reciclabilidade, pois resíduos de natureza diferente são frequentemente misturados nessas etapas, o que provoca contaminações recíprocas (JOHN; ÂNGULO, 2003).

Baseado no relatório da OECD (*Organization for Economic Cooperation and Development*), Kamimura (2002) propõe os seguintes critérios para avaliação dos materiais alternativos para uso na construção civil:

- a quantidade disponível em um local deve ser suficientemente grande para justificar o desenvolvimento de sistemas de manuseio, processamento e transporte;
- as distâncias de transporte envolvidas devem ser competitivas com os materiais convencionais;
- o material não deve ser potencialmente nocivo durante a construção ou posterior à sua incorporação na estrutura.

A vantagem competitiva do novo produto é muito importante, porque pode ser um fator decisivo para o seu sucesso no mercado. A vantagem competitiva é aquela que reduz o custo relativo do produto para um produto de mesmo desempenho ou que resulta em um produto de desempenho mais elevado (JOHN; ÂNGULO, 2003).

Os produtos de construção com conteúdo reciclado (PCCRs) e produtos reaproveitados dependem da existência da demanda para obterem sucesso no mercado de construção existente. Dependendo do tipo de reuso ou reciclagem, a demanda virá de uma das seguintes fontes, segundo Addis (2006):

- Diretivas de intervenção de departamentos governamentais;
- O proprietário/construtora/incorporadora da construção;
- Membros da equipe do projeto;
- Pessoas responsáveis pelas especificações da construção;
- Construtoras.

As razões mais relevantes para o uso destes produtos são relacionadas ao custo. Porém já existem outras influências que começam a ter impacto sobre a demanda por PCCRs e produtos reciclados, mesmo quando houver um custo adicional (ADDIS, 2006):

- Legislação: Responsabilidade do poluídos pagador, logística reversa;
- Políticas de planejamento em nível de autoridades locais: Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos;
- Créditos em ferramentas de certificação ambiental: LEED, AQUA, Procel Edifica, Selo Casa Azul da Caixa;
- Vontade do cliente.

Já existe um mercado de produtos e materiais de construção reaproveitados e para produtos que contém um percentual de materiais reciclados. Contudo, ainda está longe de se comparar com o mercado de produtos e materiais novos (ADDIS, 2006).

Logo, o desenvolvimento tecnológico de processos associados à reciclagem de resíduos industriais passa a ter hoje enorme relevância. O aumento no descarte de rejeitos sólidos, bem como os problemas advindos da exaustão de matérias-primas naturais, vem impulsionando os estudos sobre o aproveitamento desses resíduos como novos materiais, reduzindo o seu impacto ambiental e viabilizando a redução de custos industriais e a criação de novos empregos (ROCHA; CHERIAF, 2003).

5.3 Análise dos materiais

A seleção dos materiais deve atender parâmetros de inserção, estando de acordo com:

- Geografia circundante
- História
- Condições climáticas
- Responsabilidade social
- Meio ambiente
- Detalhes do processo produtivo
- Qualidade de vida
- Natureza do combustível utilizado
- Distâncias e modalidades de transporte
- Condições de exposição durante o uso
- Manutenção e durabilidade

- Práticas a serem adotadas após a vida útil dos materiais

As listas genéricas de materiais sustentáveis são às vezes falhas, pois ignoram o contexto geral quando se concentram em aspectos particulares e, ao pretenderem ser universais, não consideram a importância de agir localmente (AGOPYAN, JOHN, 2011). É preciso tomar devida atenção ao utilizá-las, atentando-se aos itens citados e levando em consideração o tripé da sustentabilidade: desenvolvimento social, proteção ambiental e desenvolvimento econômico.

5.3.1 Durabilidade

O termo “durabilidade” significa o período esperado de tempo em que um produto tem potencial de cumprir as funções a que foi destinado, num patamar de desempenho igual ou superior aquele predefinido (NBR 15575-1 apud CBIC, 2013). Ao relatar conceitos de construção sustentável do ponto de vista de diferentes países, observa-se que em algumas línguas como o alemão, finlandês, romeno ou francês, sustentável é traduzido como durável. Esta confusão entre sustentabilidade e durabilidade faz sentido, pois uma forma de aumentar a produtividade dos recursos é aumentar a vida útil dos produtos (JOHN et al, 2001).

A durabilidade não é uma qualidade intrínseca de um material. Mudanças nos detalhes de projeto que proporcionem maior proteção ao componente contra os fatores de degradação podem aumentar a sua vida útil sem alterar significativamente a carga ambiental total (JOHN et al, 2001). Para tanto, há necessidade de correta utilização, bem como de realização de manutenções periódicas em estrita obediência as recomendações do fornecedor do produto, sendo que as manutenções devem recuperar parcialmente a perda de desempenho resultante da degradação, conforme ilustrado na Figura 23 (NBR 15575-1 apud CBIC, 2013).

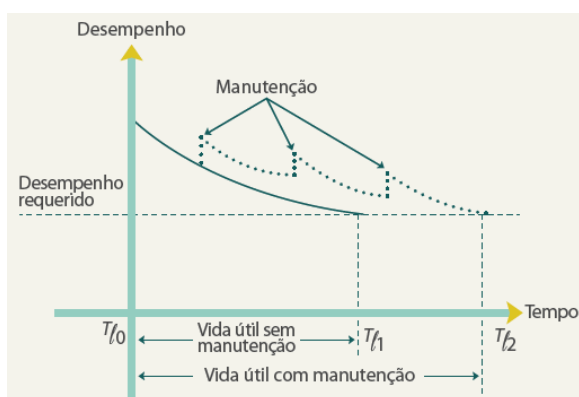


Figura 23: Recuperação do desempenho por ações de manutenção

Fonte: NBR 15575-1 apud CBIC

Com o planejamento da vida útil pretende-se que a durabilidade do edifício seja aquela pretendida pelo usuário. É uma ferramenta que permite planejar as atividades de manutenção ainda na fase de projeto e também propicia a tomada de decisões que tornam estas atividades fáceis de serem executadas. Facilita ainda as atividades de reforma, como modificações e melhorias em edifícios existentes ou em suas partes de forma a recuperá-lo da obsolescência (JOHN et al, 2001).

A obsolescência é um problema de durabilidade. Ela não é decorrente de um processo de degradação, mas de mudanças nas exigências do usuário. Pode ser considerada como vida útil de serviço definida socialmente. E como não é possível estimar as mudanças sociais que irão ocorrer a longo prazo, não se pode controlar a durabilidade contra a obsolescência. No entanto, podem ser minimizadas as cargas ambientais relativas à obsolescência fazendo com que os componentes que podem se tornar obsoletos com maior facilidade sejam facilmente substituídos (JOHN et al, 2001).

As decisões de projeto podem controlar a velocidade de obsolescência do edifício e facilitando o processo de demolição e reutilização dos componentes. O conhecimento é o fator decisivo no controle dos problemas de durabilidade relacionados com a obsolescência (JOHN et al, 2001).

O único sistema de certificação que adota a estratégia de ampliação da vida útil como parte da sustentabilidade é o sistema Aqua. Uma razão possível para isso é a falta de ferramentas existentes para quantificar a vida útil dos projetos (AGOPYAN; JOHN, 2011).

O desrespeito aos padrões de qualidade é considerado uma informalidade, pois traz prejuízo aos concorrentes que respeitam as normas; aos usuários, que adquirem um produto com probabilidade de apresentar um desempenho inadequado; e ao ambiente, pois produtos inadequados precisam ser reparados e substituídos, significando impacto ambiental dobrado (AGOPYAN, JOHN, 2011).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas publicou a ABNT NBR 15.575 – Desempenho de Edificações Habitacionais, mais conhecida como Norma de Desempenho. Ela introduz ou reforça novos conceitos, como desempenho acústico, desempenho térmico e durabilidade. É a primeira norma a definir, como um edifício deve se comportar ao longo do tempo para atender as expectativas dos usuários. Deste modo, estabelece uma relação de co-responsabilidade entre projetistas, fabricantes, construtores, incorporadores e consumidores, criando uma linguagem unificada e transparente dentro da cadeia produtiva. A Norma de Desempenho também vai impulsionar o desenvolvimento tecnológico, o estímulo à inovação, que se faz tão importante neste momento de crescimento do setor e do Brasil (BEZERRA, 2013).

5.3.2 Impactos Ambientais

A indústria da construção civil é o setor maior consumidor individual de recursos naturais (AGOPYAN; JOHN, 2011). A construção sustentável apresenta consideráveis reduções deste impactos, como pode ser observado no gráfico 1.

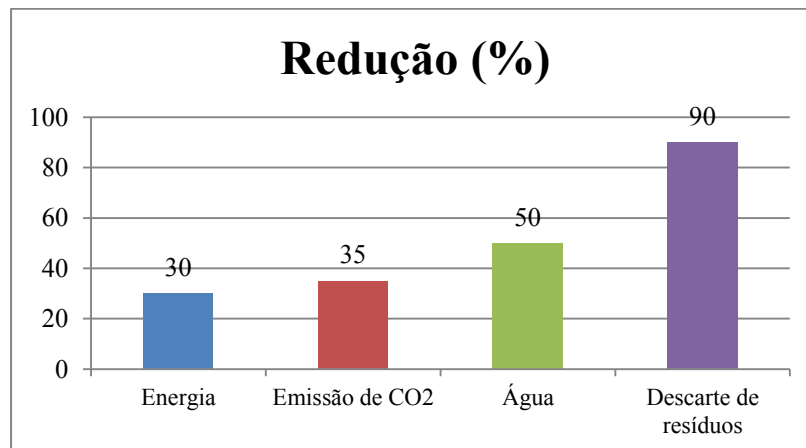


Gráfico 1: Redução de impactos ambientais das construções sustentáveis

Fonte: (GBCB, 2009 apud COSTA; MORAES, 2012)

Segundo Gaede (2008), todas as etapas do processo construtivo, tais como: extração da matéria-prima, produção de materiais, construção, utilização e demolição, causam impactos ambientais (Figura 24).

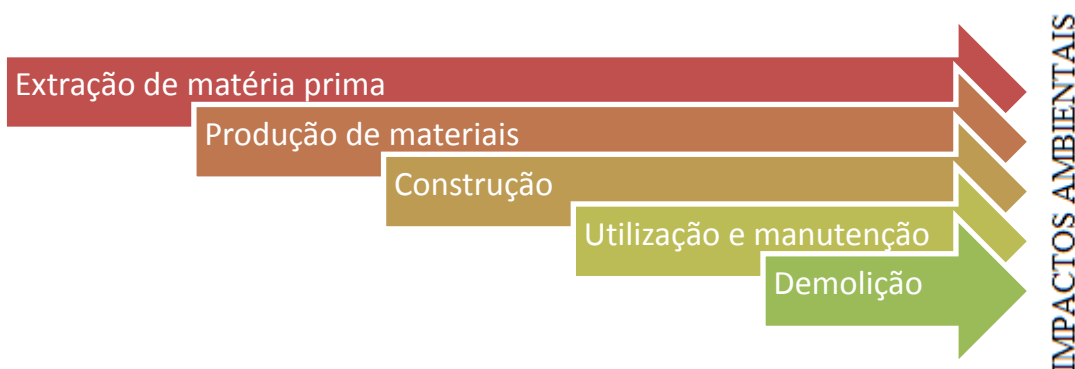


Figura 24: Etapas do processo construtivo

Fonte: GAEDE, 2008

Estes impactos são quantificáveis por meio da metodologia da Análise do Ciclo de Vida (ACV), que é a compilação e avaliação das entradas, das saídas e dos impactos ambientais

potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida, desde a concepção até a desativação. Ela é uma das várias técnicas de gestão ambiental e normalmente não aborda os aspectos econômicos ou sociais de um produto. Devido a isso, é conveniente usar as informações desenvolvidas de um estudo de ACV como parte do processo de decisão muito mais abrangente (NBR ISO 14040, 2001).

Todas as etapas do ciclo dos materiais podem exercer algum impacto sobre o ambiente e, de forma mais específica, podem-se destacar:

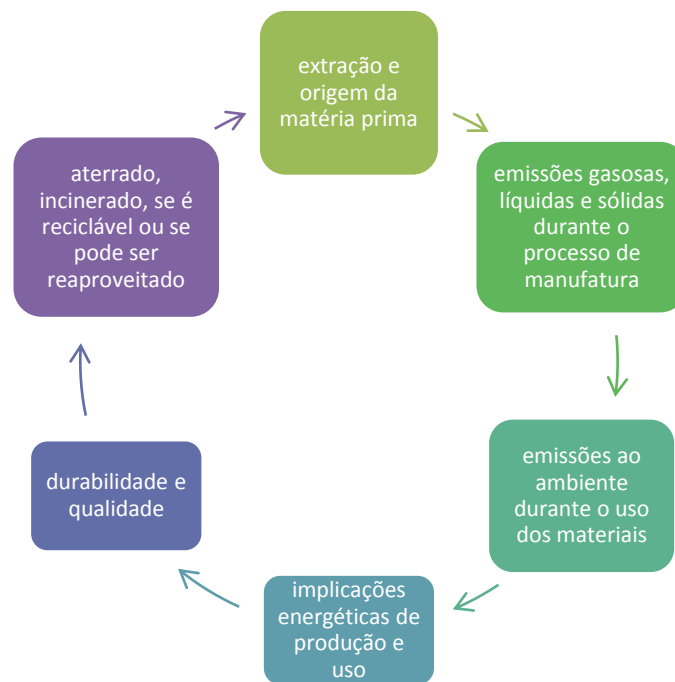


Figura 25: Ciclo dos materiais

Fonte: FERREIRA et al, 2006

Uma das barreiras que está atrasando a popularização da ACV é que o modelo requer uma enorme quantidade de informações e medidas, que encarecem e tornam trabalhosa e demorada a sua realização. Com os dados disponíveis nos dias de hoje, não é viável realizar a ACV, por isso é recomendado iniciar o processo de seleção de materiais analisando os fornecedores disponíveis para depois aplicar ferramentas de decisão disponíveis (AGOPYAN, JOHN, 2011).

Outro problema com os impactos ambientais avaliados em um perfil ambiental é que eles são medidos em unidades diferentes e não podem ser somados para calcular um impacto global. A avaliação conjunta de questões tão diferentes requer julgamentos subjetivos sobre sua importância relativa (ADDIS, 2006).

Alguns exemplos de softwares que analisam o ciclo de vida utilizados nas bibliografias foram: SimaPro, BEES e GaBi. Entretanto, por serem desenvolvidos em outros países, eles não condizem com a realidade brasileira, tendo que ser muitas vezes adaptados para nossa realidade de clima, fonte energética, etc, além da falta de dados.

O GBCB indica que nos Estados Unidos as construções sustentáveis apresentaram melhoras significativas nos índices de controle ambiental. Além de garantir um ambiente interno saudável e produtivo, possui os seguintes impactos ambientais positivos (GBCB apud COSTA; MORAES, 2012):

5.3.3 Impactos Sociais

A magnitude do impacto social, positivo ou negativo, depende das práticas de responsabilidade social das empresas, registradas nos relatórios de responsabilidade socioambiental. Entretanto não é possível para todas empresas realizarem investimentos em relatórios deste tipo. Mas as empresas que não divulgam nada, provavelmente nada realizam a respeito deste tema (AGOPYAN, JOHN, 2011).

Não existe sustentabilidade sem formalidade, legalidade e qualidade. A informalidade tem muitas facetas, como sonegação de impostos em toda cadeia produtiva, desrespeito a legislação ambiental e desrespeito a legislação trabalhista, que vão desde a extração da matéria prima até a fabricação e comercialização de materiais, a elaboração de projetos, chegando ao canteiro de obras e à manutenção (AGOPYAN, JOHN, 2011).

Por isso, o Comitê de Materiais do Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS) desenvolveu uma ferramenta para auxiliar os projetistas, empreendedores e usuários na seleção dos fornecedores e dos materiais que serão utilizados nas obras. Esse sistema não esgota o assunto, mas é uma estratégia viável para abordar práticas acessíveis a todos os compradores e especificadores de materiais e fornecedores (AGOPYAN, JOHN, 2011).

Os seis passos para a seleção de insumos e fornecedores cm critérios de sustentabilidade segundo a CBSC (2013):

- Verificação da formalidade da empresa fabricante e fornecedora;
- Verificação da licença ambiental;
- Verificação das questões sociais;
- Qualidade e normas técnicas do produto;
- Consultar o perfil de responsabilidade socioambiental da empresa;

- Identificar a existência de propaganda enganosa.

Estudo elaborado pela FGV Projetos a pedido da Associação Brasileira da Indústria de Materiais de Construção e do Instituto Brasileiro de Ética Concorrencial revelou que a informalidade é de 27,6% no setor de material de construção e 60,8% na indústria da construção. De acordo com a pesquisa, utilizando dados de 2003, as despesas com esses materiais nas famílias brasileiras somaram R\$ 26,5 bilhões. Já a demanda das empresas formais de construção foi inferior: R\$ 19,5 bilhões (PINI, 2006).

5.3.4 Impactos Econômicos

Em um cenário global voltado para o desenvolvimento sustentável, o sucesso das organizações depende de uma nova forma de pensar e de realizar sua gestão, uma vez que resultados econômicos estão cada vez mais atrelados aos impactos socioambientais causados por suas decisões e ações (CBIC, 2012).

Para que a construção brasileira seja sustentável surge, portanto, o desafio da qualificação das empresas no diálogo contínuo e frutífero com seus variados *stakeholders*, como acionistas, consumidores e clientes, público interno, comunidade, fornecedores, meio ambiente, governo e sociedade (CBIC, 2012).

A indústria da construção é o componente central de um macrosetor, movimentando segmentos que vão desde a extração das matérias-primas até os serviços associados ao financiamento e manutenção de empreendimentos. Dados de 2009 demonstram que o macrosetor da construção civil representou 15,6% do PIB brasileiro (CNI; CBIC, 2012).

A viabilidade econômica de um projeto tem por base as seguintes ações (CSILLAG; JOHN, 2008):

- Compatibilidade com as demandas e restrições do entorno;
- Economia de recursos;
- Proposta de novos modelos de financiamento do empreendimento;
- Impacto regional;
- Viabilidade econômica da proposta.

No Brasil o setor de construção habitacional ainda está nos estágios iniciais de aplicação da cultura da sustentabilidade, o que faz com que estas iniciativas tenham a falsa impressão de significarem apenas custos adicionais. Custos diretos são os que incidem durante a fase de construção, enquanto os demais custos (incorporação, manutenção, operação) são classificados

como indiretos. No Brasil o custo direto é muito valorizado, e por vezes cria barreiras à implantação dos conceitos. Estima-se investimento adicional de 1,5% a 3% em empreendimentos residenciais, e 5% a 7% em comerciais com a adoção de medidas sustentáveis, que variam de acordo com o porte do empreendimento, da tipologia adotada e da existência ou não de certificação (COSTA; MORAES, 2012).

Entretanto, uma edificação sustentável em relação a uma obra tradicional possui as seguintes vantagens:

- Custo indireto reduzido consideravelmente tornando a obra menos cara ao longo dos anos;
- Valorização do imóvel no mercado;
- Marketing verde;
- Criação de mão de obra especializada;
- Reciclagem de entulho possibilita o barateamento das atividades de construção;
- Redução de riscos financeiros.

O verdadeiro desafio consiste em analisar os custos numa perspectiva equilibrada no seu ciclo de vida, mais do que pensar apenas no custo do investimento. Quando se consegue poupar energia, aumentar a durabilidade, poupar água e ao mesmo tempo aumentar a produtividade, as características de sustentabilidade do projeto e dos materiais são muito fáceis de justificar (PINHEIRO, 2003).

5.3.5 Selo Verde

As certificações de *Green Building* que existem atualmente no Brasil são o selo norte americano Leadership in Energy and Environmental Design (LEED), o Processo Alta Qualidade Ambiental (Aqua) baseado na metodologia francesa HQE, o Selo Casa Azul de Construção Sustentável lançado pela Caixa Econômica Federal e o Procel Edifica da Eletrobrás (AGOPYAN, JOHN, 2011).



Figura 26: Selos verdes: 1-LEED, 2-Casa Azul, 3-Procel Edifica, 4-AQUA

Para uma construção ser considerada *Green Building*, ela precisa utilizar produtos que tenham o *Green Seal* (Selo Verde), que atesta, por meio de uma marca colocada voluntariamente pelo fabricante, sua adequação ao uso e seu menor impacto ambiental em relação a outros similares. Este selo demonstra para o consumidor que o produto está de acordo com critérios de excelência de qualidade e sustentabilidade (IPT, 2013).

Alguns fabricantes buscam voluntariamente estes selos ecológicos, que avaliam os produtos desde os impactos ambientais causados com a extração das suas matérias primas até o seu descarte final, por meio de inspeções *in loco*, avaliação do ciclo de vida, ensaios e coleta de dados (CNI; CBIC, 2012).

Muitos materiais são vendidos como sendo “ecológicos” e recebem selos somente porque não apresentam determinado impacto ambiental do concorrente – sem se discutir quais os impactos reais que possuem (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2010). Mesmo no mercado oficial de certificação, observa-se que, muitas vezes, os selos podem enganar, pois as certificadoras e os fabricantes falham ao cumprir seu papel (AGOPYAN, JOHN, 2011).

Certificados e selos podem ser úteis, mas seu significado prático depende da abrangência e relevância das regras com as quais foi analisado, bem como do rigor, da frequência e da isenção do processo de verificação e de quem fez a inspeção (AGOPYAN, JOHN, 2011).

5.4 Escolha dos materiais do processo construtivo utilizando a metodologia AQUA

A Alta Qualidade Ambiental é definida como sendo um processo de gestão de projeto visando obter a qualidade ambiental de um empreendimento. Este projeto baseou-se na certificação para escolas e escritórios. Ela estrutura-se em 14 categorias, sendo a segunda categoria referente a escolha integrada de produtos, sistemas e processos construtivos, englobado na família eco construção (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2007).

O desempenho associado à qualidade ambiental do edifício se expressa por meio de três níveis, segundo a Fundação Vanzolini (2007):

BOM (B): nível correspondendo ao desempenho mínimo aceitável para um empreendimento de Alta Qualidade Ambiental. Isso pode corresponder à regulamentação se esta é suficientemente exigente quanto aos desempenhos de um empreendimento, ou, na ausência desta, à prática corrente.

SUPERIOR (S): nível correspondendo ao das boas práticas.

EXCELENTE (E): nível calibrado em função dos desempenhos máximos constatados em empreendimentos de Alta Qualidade Ambiental, mas se assegurando que estes possam ser atingíveis.

Para receber a certificação é necessário no mínimo 3 classificações “Excelente” e 4 classificações “Superior”.

Este projeto não levou em consideração o nível excelente, pois este está relacionado principalmente às atitudes dos fornecedores, como programas de neutralização, e informações obtidas dos fornecedores. Do mesmo modo, irá apenas analisar os requisitos relacionados aos materiais, não considerando os subitens que não são aplicáveis a essa etapa do projeto. Do quadro de avaliação foram desconsiderados da análise: 2.1.1. Adaptar as escolhas construtivas à vida útil desejada da construção; 2.1.2. Refletir sobre a/adaptabilidade da construção ao longo do tempo e sobre a desmontabilidade / separabilidade de produtos, sistemas e processos construtivos em função da vida útil desejada da construção; 2.2.1. Assegurar a facilidade de acesso para a conservação do edifício; 2.2.2. Escolher produtos de construção de fácil conservação; 2.3.3 Conhecer os fabricantes de produtos que não pratiquem a informalidade na cadeia produtiva; 2.3.4 Escolher fabricantes de produtos que não pratiquem a informalidade na cadeia produtiva.

As diretrizes adotadas pela certificação AQUA se orientam, prioritariamente, segundo 4 indicadores considerados essenciais (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2007):

- Consumo de recursos energéticos (conteúdo energético do edifício),
- Esgotamento de recursos (recursos renováveis ou não),

- Mudança climática (contribuição para o aumento do efeito estufa),
- Resíduos sólidos (gerados para o ambiente ou dele retirados por meio de reutilização ou reciclagem).

Na adequação do referencial à realidade brasileira, entendeu-se que era importante acrescentar no processo de escolha de produtos da construção uma preocupação que refletisse as dificuldades de natureza social do país, em particular a relacionada ao combate à informalidade na cadeia produtiva (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2007). Entretanto neste momento da pesquisa não é possível levar em consideração este aspecto, já que a obra não teve início e, portanto, os fornecedores dos materiais não foram selecionados.

O quadro 6 apresenta as preocupações que a certificação AQUA com os diversos materiais discutidos. Estar na tabela “Atende” significa que o material atende a pelo menos um item do critério de avaliação

Quadro 6: Avaliação dos materiais - AQUA

| Preocupação | Indicador | Critério de avaliação | | Atende |
|---|--|--|-------|---|
| | | Título | Nível | |
| 1- Escolher produtos, sistemas ou processos cujas características são verificadas | Conformidade dos produtos, sistemas e processos construtivos | Escolha de produtos, sistemas e processos construtivos de empresas participantes e que estejam em conformidade com o PSQ correspondente a seu âmbito de atuação no programa SiMaC do PBQPH (1) ou, quando não houver PSQ correspondente, atendimento a pelo menos um dos seguintes pontos: a) aprovação técnica pelo IPT (2) ou pelo SINAT do PBQP-H (3) b) certificação segundo uma das modalidades de certificação de produtos definidas pelo <u>Inmetro</u> c) a empresa construtora que vai usar o produto possui <u>sistema de gestão</u> que garanta a sua inspeção no ato do recebimento, de modo a recusar produtos não conformes Devem estar em conformidade com um dos quatro critérios acima, no mínimo 50% da quantidade total dos produtos de cada uma das famílias: estrutura portante vertical; estrutura portante horizontal; fundações; fachadas e revestimentos externos; telhados e coberturas; esquadrias voltadas para o exterior (4) | B | Cimento com RCD; Cimento com escória de alto-forno; Cimento pó de calcário; Agregado com RCD; Agregado siderúrgico; Agregado com cinzas volantes; Madeira; Bambu; Gesso; Steel Frame e Wood Frame; Materiais de Mudança de Fase, Vidros |
| | | Idem nível B para, 80% da quantidade total dos produtos das mesmas famílias listadas | S | |

Quadro 6: Avaliação dos materiais - AQUA (continuação)

| Preocupação | Indicador | Critério de avaliação | | Atende |
|---|--|---|-------|--|
| | | Título | Nível | |
| 2- Conhecer a contribuição dos produtos de construção nos impactos ambientais da construção | Conhecimento das características ambientais dos produtos de construção, especialmente aquelas relacionadas à emissão de gases contribuintes para o efeito estufa (mudança climática), à geração de resíduos, à possibilidade de reuso/reciclagem de materiais, ao uso de recursos renováveis e ao esgotamento de recursos naturais | Conhecimento das características ambientais da fabricação e utilização dos diversos tipos de cimentos e Identificação dos fabricantes de concretos usinados e de pré-moldados fabricados com cimentos CP III ou CP IV, de acordo com a disponibilidade do tipo de cimento no mercado local da obra e Identificação de fabricante de produtos de construção em geral localizados a menos de 300 km da obra | B | Cimento com RCD; Cimento com escória de alto-forno; Cimento pó de calcário |
| | | Cumprimento da exigência do nível B e três dos quatro pontos seguintes: - identificação e análise de documentos sobre <u>processos de desconstrução</u> existentes para os produtos utilizados, no mínimo para 50% dos elementos, em custo global, das famílias “estrutura vertical”, “estrutura horizontal” e “fachadas” - relação dos fornecedores de <u>madeira certificada</u> e de <u>reflorestamento</u> e de seus produtos - relação de fornecedores de <u>agregados reciclados</u> e identificação e análise de documentos sobre suas aplicações e impactos do uso (NBR 15116:2004) - identificação e análise de documentos sobre possibilidades de <u>reuso e reciclagem</u> dos produtos utilizados, ao final da vida útil do edifício, no mínimo para 50% dos elementos, em custo global, das famílias “estrutura vertical”, “estrutura horizontal”, “fachadas”, “divisórias de separação/distribuição”, “fachadas leves e elementos de fachadas” e “outros revestimentos de piso” | S | Cimento com RCD; Cimento com escória de alto-forno; Cimento pó de calcário; Agregado com RCD; Agregado siderúrgico; Agregado com cinzas volantes; Agregado com cinzas do bagaço de cana; Agregado com cinzas de cascas de arroz; Agregado com cerâmica vermelha; Agregado com pneu inservível; Agregado com vidro; Madeira; Bambu; Gesso; Steel Frame e Wood Frame; ISOPET; Tubopet; Vidros |

Quadro 6: Avaliação dos materiais - AQUA (continuação)

| Preocupação | Indicador | Critério de avaliação | | Atende |
|---|--|--|-------|---|
| | | Título | Nível | |
| 3- Escolher os produtos de construção de forma a limitar sua contribuição aos impactos ambientais da construção | Escolhas que contribuam para a diminuição da emissão de gases do efeito estufa (mudança climática), diminuição dos resíduos dispostos no ambiente, aproveitamento por reuso/reciclagem de materiais, aumento do uso de recursos renováveis, e escolhas que evitem o esgotamento de recursos naturais | Uso do <u>cimento CP III ou CP IV</u> , bem como uso de concretos moldados in loco, usinados e pré-moldados fabricados com estes cimentos, de acordo com a disponibilidade do tipo de cimento no mercado local da obra e Uso de materiais fabricados a menos de 300 km do local da obra, no mínimo para 30% da quantidade total de materiais em massa | B | Cimento com RCD; Cimento com escória de alto-forno; Cimento pó de calcário; |
| | | Cumprimento das exigências do nível B e três dos quatro pontos seguintes, em coerência com as escolhas da preocupação anteriores: - uso de produtos ligados a partidos arquitetônicos que apresentem, por comparação, maior facilidade para <u>desconstrução seletiva</u> ao final da vida útil do edifício, no mínimo para 50% dos elementos, em custo global, das famílias "estrutura vertical", "estrutura horizontal" e "fachadas" - uso de madeira e de produtos de <u>madeira certificados e/ou de reflorestamento</u> - uso de 20% em massa de <u>agregados reciclados</u> - uso de produtos que apresentem, por comparação, maior possibilidade de <u>reuso ou reciclagem</u> ao final da vida útil do edifício, no mínimo para 50% dos elementos, em custo global, das famílias "estrutura vertical", "estrutura horizontal", "fachadas", "divisórias de separação/distribuição", "fachadas leves e elementos de fachadas" e "outros revestimentos de piso" | S | Cimento com RCD; Cimento com escória de alto-forno; Cimento pó de calcário; Agregado com cinzas volantes; Agregado com cinzas do bagaço de cana; Agregado com cinzas de cascas de arroz; Agregado com cerâmica vermelha; Agregado com vidro; Madeira; Bambu; Steel Frame e Wood Frame; ISOPET; Vidros |

Quadro 6: Avaliação dos materiais - AQUA (continuação)

| Preocupação | Indicador | Critério de avaliação | | Atende |
|--|---|---|-------|------------------------------------|
| | | Título | Nível | |
| 4- Conhecer os impactos à qualidade do ar interior e à saúde humana dos produtos de construção | Conhecimento das características dos produtos de revestimentos interiores do ponto de vista das emissões de poluentes nocivos à saúde humana | Identificação e análise de documentos sobre problemas causados à saúde humana resultantes da fabricação e utilização de amianto nos materiais de construção | B | |
| | | Idem nível B e Relação de tintas e adesivos à base de água disponíveis no mercado Relação de tintas e adesivos certificados pelo programa Coatings Care (5) | S | Tintas minerais; Tintas com PET |
| 5- Escolher os produtos de construção de modo a limitar os impactos da construção à qualidade do ar interior e à saúde humana | Consideração dos aspectos sanitários (do ponto de vista das emissões de poluentes nocivos à saúde humana) nas escolhas dos produtos de revestimentos interiores | Não uso de produtos à base de amianto ou que contenham amianto em sua composição e No caso do projeto luminotécnico, especificar lâmpadas fluorescentes compactas ou circulares e utilizar apenas as que apresentem o selo do PROCEL | B | |
| | | Idem nível B e Uso de tintas e adesivos somente à base de água Uso de tintas e adesivos certificados pelo programa Coatings Care (5) | S | Tintas minerais; Tintas com PET |
| <p>(1) O PBQP-H (Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat) é um conjunto de diretrizes desenvolvidas pelo Ministério das Cidades - Secretaria Nacional da Habitação e seus parceiros privados, com o objetivo de melhorar a qualidade do habitat e contribuir para a modernização produtiva. Uma das atividades do PBQP-H é o SiMaC (Sistema de Qualificação de Materiais, Componentes e Sistemas Construtivos), que abriga diferentes PSQ (Programa Setorial da Qualidade), um para cada tipo de produto, que atestam a conformidade de fabricantes e seus respectivos produtos de construção com relação a padrões definidos de qualidade.</p> <p>(2) O IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo) concede certificados de desempenho de produtos de construção civil – Referência Técnica, atestando sua qualidade de acordo com padrões controlados. A aprovação técnica do IPT inclui inspeção do produto e acompanhamento de mercado, o que garante sua contínua qualidade.</p> <p>(3) O SINAT (Sistema Nacional de Avaliação Técnica) é uma iniciativa do PBQP-H que busca harmonizar procedimentos para a avaliação técnica de novos produtos de construção, quando não existem normas técnicas prescritivas específicas aplicáveis ao produto. Busca suprir, provisoriamente, lacunas da normalização técnica prescritiva, avaliando produtos não abrangidos por ela, sendo especialmente importante na avaliação e estímulo de produtos de inovação tecnológica e, portanto, na competitividade e avanço do setor produtivo.</p> <p>(4) No caso da utilização de cimento, blocos de concreto ou tubos de concreto, o produto deve obrigatoriamente possuir o selo de certificação de qualidade da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) concede selo de certificação da qualidade de cimentos, o qual atesta que o produto está em conformidade com a norma brasileira e que sua fabricação está sob controle contínuo do fabricante.</p> <p>(5) O programa Coatings Care, desenvolvido pelo IPPIC (International Paint and Printing Ink Council), certifica internacionalmente tintas e adesivos segundo requisitos semelhantes aos da série NBR ISO 14000. No Brasil, a representante do IPPIC é a ABRAFATI (Associação Brasileira dos Fabricantes de Tintas), sendo a organização responsável pela certificação dos fabricantes de tintas nacionais</p> | | | | |

5.5 Escolha dos materiais do processo construtivo utilizando a metodologia LEED

O LEED adota o método de avaliação baseado em pontos e para obter a certificação é necessário satisfazer um conjunto de critérios de desempenho agrupados em áreas chave, e o peso de cada critério varia de acordo com a tipologia. Para obter a certificação mínima é necessário atingir 40 pontos; a partir de 50 pontos, recebe-se a certificação prata, com 60 pontos, a certificação ouro e acima de 80 pontos, certificação platina (COSTA; MORAES, 2012).

Os pré-requisitos para a certificação LEED que se relacionam com os materiais são: materiais recicláveis, materiais regionais, materiais rapidamente renováveis e madeira certificada. Para cada pré-requisito é possível realizar 1 ou 2 pontos, dependendo da dimensão em que se atende o mesmo.

Este projeto baseou-se na certificação LEED para novas construções de escolas. Na sua quarta categoria, Materiais e Recursos, alguns itens foram desconsiderados da tabela de avaliação por não serem aplicáveis neste projeto, são eles: Armazenamento e Coleta de Materiais Recicláveis; Reuso de Elementos Construtivos – Paredes, Pisos e Telhados existentes; Gestão dos Resíduos da Construção; Materiais Reutilizados; Materiais Regionais.

O quadro 7 apresenta os requisitos da certificação LEED e os materiais que atendem a cada um deles, o que colaboraria em pontuação para a certificação da construção como um todo.

| Pre-requisitos | Requisitos | Dimensão | Ptos | Atende |
|----------------------------------|---|---|------|---|
| Conteúdo reciclado | Uso de materiais reciclados, cuja soma dos resíduos comuns reciclados mais 1/2 de materiais reciclados decorrente de processo de manufatura | 10% do custo total de materiais | 1 | Cimento com RCD; Agregado com RCD; Agregado siderúrgico; Agregado com pneu inservível; Agregado com pneu inservível; ISOPET; Tintas com PET |
| | | 20% do custo total de materiais | 2 | Cimento com escória de alto-forno; Cimento pó de calcário; Agregado com cinzas do bagaço de cana; Agregado com cinzas de cascas de arroz; Agregado com cinzas volantes; Agregado com cerâmica vermelha; Agregado com vidro; Tubopet |
| Materiais rapidamente renováveis | Materiais rapidamente renováveis e produtos agrícolas que são colhidos num ciclo de 10 anos ou menos | 2.5% do custo dos materiais de construção da obra | 1 | Agregado com cinzas do bagaço de cana; Agregado com cinzas de cascas de arroz; Bambu |
| Madeira certificada | Materiais de madeira e produtos que sejam certificados pelo FSC | Uso mínimo 50% do custo de todos componentes de madeira | 1 | Madeira |

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A reciclagem dos resíduos tem se mostrado uma alternativa viável e a construção civil é um setor promissor para absorção destes novos materiais, sejam eles resíduos de outras indústrias ou o seu próprio resíduo. Entretanto falta nesta área de reciclagem incentivo governamental para a disseminação de novas tecnologias, aplicando o que a pesquisa vem descobrindo e viabiliza-la no mercado.

A seleção de materiais que melhor se adapte a cada obra em específico é uma tarefa árdua e é sujeita a diversos equívocos. A quase totalidade das listas de recomendação de materiais de construção com base em critérios ambientais disponíveis ignoram os aspectos sociais, a durabilidade e as condições de uso, o impacto do transporte, a energia incorporada, as perdas durante a construção, o fator desempenho, entre outros.

Conclui-se que uma estratégia eficiente de mitigação dos impactos ambientais é considerar os detalhes do projeto, práticas de construção, qualidade dos materiais empregados, gestão da obra, padrões de manutenção, e operação, condições ambientais e definição da vida útil de cada projeto.

Das avaliações dos materiais realizadas em relação às certificações, conclui-se que a AQUA baseia-se muito em programas ou institutos para garantir que seus requisitos sejam atendidos, como IPT, PROCEL, PSQ, etc. Visto que ela direciona como as escolhas devem ser realizadas e na maioria das vezes não especifica, por exemplo, a quantidade de material reciclado que o produto deve conter. Os níveis Superior e Excelente são na maioria cumprimento de documentações ou aumento da quantidade de itens anteriores que devem ser atendidos.

Este método tem o lado positivo por descentralizar a função de controlar cada material especificamente, o que melhora a credibilidade de como eles foram produzidos e quais são seus impactos. O lado negativo é que existem diversos produtos que não foram qualificados por essas organizações, mas que possuem características de material sustentável. Além do mais, como pode ser observado na preocupação nº 2 “Conhecer a contribuição dos produtos de construção nos impactos ambientais da construção”, só é preciso realizar uma relação de fornecedores, já que a preocupação implica simplesmente em “conhecer”, sendo pouco para pontuar a construção.

A certificação LEED avalia os materiais independentemente se eles estão ou não enquadrados em um programa já existente, dando ao cliente a opção de escolha. Além disso,

estabelece qual é a porcentagem dos gastos que deve ser investida para alguns requisitos. Mas o aspecto negativo disso é que às vezes esses materiais podem ter um custo mais elevado, resultando para a obra uma pequena quantidade de materiais que tenha o viés sustentável.

Deste modo, este trabalho servirá como guia para os tomadores de decisão. Recomenda-se que estes se atentem ao escolher os materiais, buscando o que a cidade e a região de Rio Claro tem a oferecer, levando em consideração todos os pontos citados no trabalho presente.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAVIDRO. **Tipos de vidro**. 2008. Disponível em: <http://www.andiv.com.br/tipos_de_vidro.asp>. Acesso em: 28 abr. 2013.
- ADDIS, B. **Reuso de materiais e elementos de construção**. Ed. Oficina de textos. São Paulo. 2006
- AGOPYAN, V.; JOHN, V. M. **Desafio da Sustentabilidade na Construção Civil**. Ed. Blucher. 2011.
- AGUIAR, E. C. C.; SILVÉRIO, D. C. V.; PEREIRA, L. A.; KANNING, R. C. **A Tecnologia do Concreto Aliada ao Meio Ambiente**. AnBio. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <http://www.anbio.org.br/site/index.php?option=com_content&view=article&id=403:a-tecnologia-do-concreto-aliada-ao-meio-ambiente&catid=66:biodiversidade&Itemid=61>. Acesso em: 18 mar. 2013.
- ALBUQUERQUE, M. C. F.; GONÇALVES, A. C. **Estudo mecânico do concreto de alto desempenho com agregado reciclado**. In: HOLOS Environment. V.10, n.2. p. 153. Universidade Estadual Paulista – UNESP. Ilha Solteira, 2010.
- ÂNGULO, S. C.; ZORDAN, S. E.; JOHN, N. M. **Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil**. São Paulo, 2001
- ARAÚJO JR, C. C.; RONDON, O. C. **Reaproveitamento de resíduos de cerâmica vermelha na construção civil**. Universidade Federal do Mato Grosso do Sul. 2009.
- ArcelorMittal. **Escória de Alto Forno**. Disponível em: <http://www.cst.com.br/produtos/co_produtos/catalogo_produtos/escoria_forno/escoria_a_granulada.asp>. Acesso em: 15 mar. 2013.
- Associação Brasileira dos Fabricantes de Chapas para Drywall. **Resíduo de gesso na construção civil**. Coleta, armazenagem e destinação para reciclagem. 2009. Disponível em: <<http://www.drywall.org.br/index1.php/19/meio-ambiente>>. Acesso em: 5 abr. 2013.
- BARATELLA, P. R. M. **Análise do desenvolvimento de indicadores para a avaliação de sustentabilidade em edifícios brasileiros**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. UNICAMP, Campinas, 2011.
- BENSON, C.H. **Using shredded scrap tires in civil and environmental construction**. University of Wisconsin. Madison. Resource Recycling. 1995.
- BERALDO, A. L. apud TIRELLI, Z. P. **Avaliação do desempenho do bambu na construção utilizando revisão bibliográfica**. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, 2007. Disponível em: <<http://www.bambubrasileiro.com/arquivos/Desempenho%20Bambu%20Construcao%20-%20Tirelli.pdf>>. Acesso em 24 mar. 2013.
- BEZERRA, S. **ABNT publica norma de desempenho 15.575**. 2013. Disponível em: <<http://www.cbic.org.br/sala-de-imprensa/noticia/abnt-publica-norma-de-desempenho-15-575-desempenho-de-edificacoes-habitacio>>. Acesso em: 29 maio 2013.
- BIOESTRUTURA. **Alvenaria estrutural: Tijolos de solo cimento**. 2013. Disponível em: <<http://www.bioestrutura.com.br/2011-10-16-12-37-59/alvenaria-estrutural-tijolos-de-solo-cimento>>. Acesso em: 9 maio 2013.
- BLUMENSCHNEIN, R. N. **Gestão de Resíduos Sólidos em Canteiros de Obras**. Distrito Federal, 2007

- CABRAL, A. E. B.; SCHALCH, V.; DAL MOLIN, D. C. C.; RIBEIRO, J. L. D.; RAVINDRARAJAH, R. S. **Desempenho de concretos com agregados reciclados de cerâmica vermelha**. In: Revista Cerâmica. Associação Brasileira de Cerâmica. 2009. . n.55. p.448-460.
- Caixa Econômica Federal. **Selo Casa Azul. Boas práticas para construção mais sustentável**. CAIXA. Editora Páginas & Letras. 2010
- CBIC. **Guia CBIC de boas práticas em sustentabilidade na indústria da Construção**. Brasília. 2012.
- CBSC. **6 passos para a seleção de insumos e fornecedores em critérios de sustentabilidade**. 2013. Disponível em: <http://www.cbcs.org.br/selecaoem6passos/index.php?NO_LAYOUT=true>. Acesso em 2 maio 2013.
- CEMPRE. **Vidros**. Disponível em: <http://www.cempre.org.br/ft_vidros.php>. Acesso em: 13 Maio 2013.
- CIB; UNEP-IETC. **AGENDA 21 for Sustainable Construction in Developing Countries**. 2002
- CIMENTO.ORG, **CP III-32 - Cimento Portland de Alto Forno**. 2010. Disponível em:<http://www.cimento.org/index.php?option=com_content&view=article&id=99&Itemid=152>. Acesso em: 17 maio 2013.
- CNI; CBIC: **Construção verde: Desenvolvimento com sustentabilidade**. Brasília, 2012.
- CORDEIRO, G. C.; TOLEDO, R. D.; FAIRBAIRN, E. M. R. **Influência da substituição parcial de cimento por cinza ultrafina da casca de arroz com elevado teor de carbono nas propriedades do concreto**. In: Revista Ambiente Construído. Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 99-107, 2009.
- CORSINI, R. **Agregados reciclados**. In: Guia da Construção. Edição 123. 2011. Disponível em: < <http://revista.construcaomercado.com.br/guia/habitacao-financiamento-imobiliario/123/agregados-reciclados-238497-1.asp>>. Acesso em: 3 abr. 2013.
- COSTA, E. D.; MORAES, C. S. B. **Construção Civil e a Certificação Ambiental: Análise comparativa das certificações LEED e AQUA**. In: Encontro Nacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente. São Paulo. 2012.
- CSILLAG, D.; JOHN, V. M. **Análise das práticas das construções sustentáveis na América Latina**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2008.
- DEEKE, V; CASAGRANDE JR. E. F. **Edificações sustentáveis em instituições de nível superior**. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia. Universidade Federal Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2008. Disponível em: <<http://www.usp.br/nutau/CD/03.pdf>>. Acesso em: 06 mar. 2013
- DEEKE, V.; CASAGRANDE JR. E. F.; SILVA, M. C. **Edificações sustentáveis em instituições de ensino superior**. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia. Universidade Federal Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2008. Disponível em: <<http://www.usp.br/nutau/CD/03.pdf>>. Acesso em: 06 mar. 2013.
- ECOCASA. **Tinta mineral natural**. 2013. Disponível em: <<http://www.ecocasa.com.br/produtos.asp?it=2332>>. Acesso em: 23 abr. 2013.
- ECOD. **Guia da construção verde: Paredes sustentáveis**. 2010. Disponível em: <<http://www.ecodesenvolvimento.org/noticias/guia-da-construcao-verde-paredes>>. Acesso em 14 fev. 2013.

- FUNDAÇÃO VANZOLINI. **Referencial técnico de certificação**. Edifícios do setor de serviços - Processo AQUA: Escritórios - Edifícios escolares. 2007.
- GAEDE, L.P.F. **Gestão dos resíduos da construção civil no município de Vitória-ES e normas existentes**. 2008. Monografia Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte. Disponível em: <<http://www.cecc.eng.ufmg.br/trabalhos/pg1/Monografia%20Lia.pdf>>. Acesso em: 26 fev. 2013.
- GBC. **LEED for Schools New Construction and Major Renovations Rating System**. Washington, DC. 2011.
- GBCB, 2009 apud COSTA, E. D.; MORAES, C. S. B. **Construção Civil e a Certificação Ambiental: Análise comparativa das certificações LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) e AQUA (Alta Qualidade Ambiental)**. In: Encontro Nacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente. São Paulo. 2012.
- GONZAGA, C. A. M. **Marketing verde de produtos florestais: Teoria e Prática**. FLORESTA, v. 35, n. 2. UNICENTRO. Curitiba, 2005.
- IDHEA. **Tintas ecológicas**. 2013. Disponível em: <www.idhea.com.br/pdf/tintas.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2013
- Inovação Tecnológica apud Agência USP. **Concreto com menos cimento reduz impacto ambiental**. 2011. Disponível em: <<http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=concreto-menos-cimento-impacto-ambiental>>. Acesso em: 2 abr. 2013.
- INSTITUTO AÇO BRASIL, 2010 apud CCABRASIL, 2010. Disponível em: <http://www.ccabrasil.org.br/Coproducto_Cimento.asp>. Acesso em: 15 maio 2013.
- IPT. **Cimento de resíduos da construção civil**. 2013. Disponível em: <http://www.ipt.br/noticia/657-cimento_a_partir_de_residuos.htm>. Acesso em: 23 mar. 2013.
- IPT. **Determinação de compostos orgânicos voláteis (COV) em materiais de construção civil**. 2013. Disponível em: <http://www.ipt.br/solucoes/45-determinacao_de_compostos_organicos_volateis__cov__em_materiais_de_construcao_civil.htm>. Acesso em 24 mar. 2013.
- IPT; SECRETARIA DO VERDE E DO MEIO AMBIENTE; SINDUSCON . **Madeira: Uso sustentável na construção civil**. Ed.2. 2009.
- JOHN, V. M.; AGOPYAN, V. **Reciclagem de escória de alto forno no Brasil**. Escola Politécnica da USP. São Paulo, 2000.
- JOHN, V. M.; ÂNGULO, S. C. **Metodologia para desenvolvimento de reciclagem de resíduos**. In: Coletânea Habitare, Utilização de Resíduos na Construção Habitacional, Porto Alegre, 2003. v. 4. cap. 4. p.9-71.
- JOHN, V. M.; PILEGGI, R. apud ALISSON, E. **Pesquisadores da USP desenvolvem cimento ecoeficiente**. 2013. Disponível em: <<http://agencia.fapesp.br/17215>>. Acesso em: 21 maio 2013.
- JOHN, V. M.; SATO, N.M. N.; AGOPYAN, V.; SJÖSTRÖM, C. **Durabilidade e Sustentabilidade: Desafios para a Construção Civil Brasileira**. Universidade de São Paulo e University of Gävle. Workdur, 2001.
- JOHN, W. M.; ZORDAN, S. E. **Metodologia de avaliação do Potencial de reciclagem de Resíduos**. 2004
- JVA. **Reuso de agregado siderúrgico**. Opção ecologicamente correta é viável economicamente. 2010. Disponível em: <http://www.jvaonline.com.br/novo_site/ler_noticia.php?id=84776>. Acesso em: 5 abr. 2013.

- KAMIMURA, E. **Potencial de utilização dos resíduos de borracha de pneus pela indústria da construção civil**. Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2002.
- KUNKEL, N. **Resíduos da construção civil aliados a construção mais limpa (P+L)**. Santa Maria, RS. 2009. 104 p.
- LAZZARIN, M apud CINTRA, T. **Sustentabilidade Social**. 2013. Disponível em: <<http://www.revistaconstrucaoenegocios.com.br/materias.php?FhIdMateria=358>>. Acesso em 28 abr. 2013.
- LENGEN, J. **Manual do arquiteto descalço**. Livraria do Arquiteto. Curitiba, 2004.
- LP Building Products. **Sistema CES**. 2013. Disponível em: <<http://www.lpbrasil.com.br/sistemas/sistema-ces.html>>. Acesso em 2 maio 2013.
- LQES- Laboratório de Química do Estado Sólido. 2001. In: KAMIMURA, E. **Potencial de utilização dos resíduos de borracha de pneus pela indústria da construção civil**. Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2002.
- METALICA. **Usiminas: Agregado do aço chega às ruas**. Disponível em: <<http://www.metalica.com.br/usiminas-agregado-do-aco-chega-as-ruas>>. Acesso em: 26 mar. 2013.
- MIELI, P. H. **Avaliação do tijolo modular de solo-cimento como material na construção**. Projeto de graduação de engenharia dos materiais. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2009.
- MMA. **Construção Sustentável**. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/urbanismo-sustentavel/constru%C3%A7%C3%A3o-sustent%C3%A1vel>>. Acesso em: 27 fev. 2013.
- MOTTA, R. S.; BERNUCCI, L. L. B.; MOURA, E. **Aplicação de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil em camadas de pavimentos**. In: Congresso de Pesquisa e Ensino de Transporte (ANPET), n.18, 2004. Florianópolis, 2004. Disponível em: <http://www.cbtu.gov.br/estudos/pesquisa/anpet_xviiiCongrpesqens/ac/arq24.pdf>. Acesso em: 3 abr. 2013.
- NAÇÕES UNIDAS, 1972 apud NOGUEIRA, F. M. **Bambucon: Bambu reforçado com microconcreto armado**. Trabalho de Conclusão do Curso de Especialização em Construção Civil. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2009.
- NBR 15575-1 apud CBIC. **Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013**. Fortaleza, 2013.
- NBR ISO 14040. **Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura**, 2001.
- NOGUEIRA, C. L. apud AGUIAR, A. N. **Esalq estuda utilização de bambu como matéria-prima estrutural**. 2012. Universidade de São Paulo. Disponível em: <<http://www5.usp.br/10361/esalq-estuda-utilizacao-de-bambu-como-materia-prima-estrutural/>>. Acesso em: 18 mar. 2013.
- NOGUEIRA, F. M. **Bambucon: Bambu reforçado com microconcreto armado**. Trabalho de Conclusão do Curso de Especialização em Construção Civil. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2009.
- OCTAVIANO, C. **Sustentabilidade na construção civil: benefícios ambientais e econômicos**. In: Revista Com Ciência. 2010. Disponível em: <<http://www.comciencia.br/comciencia/?section=8&edicao=60&id=755>> Acesso em: 6 maio 2013.

- PEDROZO, R. F. E. **Influência da substituição do agregado miúdo natural por agregado reciclado fino em propriedades de argamassas e concretos.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2008.
- PINHEIRO, M. D. **Construção sustentável: Mito ou realidade?** In: Congresso Nacional de Engenharia do Ambiente, n.7., 2003, Lisboa. Disponível em: <http://www.academia.edu/1395009/Construcao_Sustentavel_Mito_ou_Realidade>. Acesso em: 25 fev. 2013.
- PINHEIRO, S. M. M. **Gesso Reciclado: Avaliação de Propriedades para Uso em Componentes.** 2011. Tese de doutorado. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.
- PINI. **Informalidade representa 60,8% do setor construção civil. 2006.** Disponível em: <<http://www.piniweb.com.br/construcao/noticias/informalidade-representa-608-do-setor-construcao-civil-79269-1.asp>>. Acesso em 14 maio 2013.
- PISANI, M. A. J. **Taipas: A arquitetura de terra.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.
- Portal da Construção Sustentável. **Construção.** 2013. Disponível em: <http://www.csustentavel.com/i_empresas.php?subject=119>. Acesso em: 18 abr. 2013.
- PRUDÊNCIO JR, L. R.; SANTOS, S.; DAFICO, D. A. **Cinza da casca de arroz.** In: Coletânea Habitare, Utilização de Resíduos na Construção Habitacional, Porto Alegre, 2003. v. 4. cap. 8. p. 241-261.
- Relatório Brundtland. **Towards Sustainable Development.** In: Our Common Future. Geneva, Switzerland, 1987. Disponível em: <<http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>>. Acesso em: 10 mar. 2013.
- RIGHI, D. KÖHLER, L. KIRCHHOF, L. LIMA, R. **Efeitos da Substituição de Areia por Vidro Moído no Comportamento de Concretos em Elevadas Temperaturas.** In: Engenharia Estudo e Pesquisa. v. 11. n.2. p. 28-35. Santa Maria. 2011.
- RMA - Return Merchandise Authorization, 2002. In: KAMIMURA, E. **Potencial de utilização dos resíduos de borracha de pneus pela indústria da construção civil.** Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2002.
- ROCHA, J. C. **Aproveitamento de cinzas residuais em mineração de construção.** Universidade Federal de Santa Catarina. 2003.
- ROCHA, J. C.; CHERIAF, M. **Aproveitamento de resíduos na construção.** In: Coletânea Habitare, Utilização de Resíduos na Construção Habitacional, Porto Alegre, 2003. v. 4. cap. 3. 2003 p. 74-93.
- ROMAGNANO, L. F. T. **Materiais, componentes e sistemas construtivos.** Usos da madeira. In: Técnica. Edição 162. 2010. Disponível em: <<http://www.revistatechne.com.br/enharia-civil/162/artigo185719-1.asp>>. Acesso em: 23 mar. 2013.
- SALES, A.; LIMA, S.A. **Use of Brazilian sugarcane bagasse ash in concrete as sand replacement.** In: Waste Management. 2010.
- SAVASTANO JR, H. **Sistemas de cobertura para construções de baixo custo: uso de fibras vegetais e de outros resíduos agroindustriais.** In: Coletânea Habitare, Utilização de Resíduos na Construção Habitacional, Porto Alegre, 2003. v. 4. cap. 4. p. 95-123.

- Siderurgia Brasileira. **Relatório de Sustentabilidade 2008**. Disponível em: <http://www.acobrasil.org.br/site%5Cportugues%5Cbiblioteca%5Crelat_sust_ibs_2008.pdf>. Acesso em: 4 abr. 2013.
- SINO, M. A. **PET abre o leque para novos usos**, 2013. Disponível em: <<http://www.plastico.com.br/revista/pm342/reciclagem1.htm>>. Acesso em 15 mar. 2013.
- SOBRINHO, C. W. A. P.; BEZERRA, N. M.; COSTA, T. C. T.; SILVA, C. B. **Divisórias internas de edifícios em alvenarias de blocos de gesso: Vantagens técnicas, econômicas e ambientais**. Instituto de Tecnologia de Pernambuco, 2011.
- SOUTO, J. M. F. **Avaliação do desempenho da cinza do bagaço de cana de açúcar na produção de concretos**. Tese de pós graduação em Engenharia Urbana, Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2010.
- TEIXEIRA, D. F.; SOLLERO, L. P. V. **Usinas de Asfalto com Base em Agregado Siderúrgico: Modelos de Localização**. Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2009.
- TIRELLI, Z. P. **Avaliação do desempenho do bambu na construção utilizando revisão bibliográfica**. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, 2007. Disponível em: <<http://www.bambubrasileiro.com/arquivos/Desempenho%20Bambu%20Construcao%20-%20Tirelli.pdf>>. Acesso em 24 mar. 2013.
- TOLEDO, R. **Concretos de baixo impacto ambiental: Pesquisador da Coppe desenvolve material que emite menos CO2**. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <<http://redeglobo.globo.com/globouniversidade/noticia/2011/07/concretos-de-baixo-impacto-ambiental.html>>. Acesso em: 2 abr. 2013.
- TORGAL, F. P.; JALALI, S. **Construção sustentável: O caso dos materiais sustentáveis**. In: Congresso Construção 2007, n.3. Coimbra, Portugal. Universidade do Minho. Disponível em: <<http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/7542/1/Artigo%25204.pdf>>. Acesso em: 13 mar. 2013.
- UEMOTO, K. L.; IKEMATSU, P.; AGOPYAN, V. **Impacto ambiental das tintas imobiliárias**. In: Coletânea Habitar, Construção e Meio Ambiente, Porto Alegre, 2006. v. 7. cap. 3. p. 59-95.
- UNEP - UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAM. **Greening Universities Toolkit**. Disponível em: <http://www.unep.org/training/publications/Rio+20/Greening_unis_toolkit%20120326.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2013.
- UPM - Universidade Politécnica de Madrid. **As Paredes de Gesso que Conservam Energia**, 2013. Disponível em: <<http://www.engenhariacivil.com/paredes-gesso-conservam-energia>> Acesso em: 6 maio 2013.
- VALVERDE, F. M. **Agregados para a construção civil**. In: Balanço mineral brasileiro. DNPM. 2001. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriadocumento/balancomineral2001/agregados.pdf>> Acesso em 2 abr. 2013.

Rio Claro/ SP, 21 de junho de 2013.

Luana Ly Kwai
Aluna
Graduação em Engenharia Ambiental - UNESP

Profa. Dra. Clauciana Schmidt Bueno de Moraes
Orientadora
Professora Assistente Doutora
DEPLAN/ IGCE/ UNESP