

## Concreto-PVC, madeira serrada e madeira plástica: estudo comparativo de adequabilidade para construções em ilhas oceânicas

DIAS, Bernardo Zandomenico<sup>1,a</sup>; FUKAI, Fernanda Mayumi<sup>1,b</sup>; DORIO, Natielly<sup>1,c</sup>; ALVAREZ, Cristina Engel de<sup>1,d</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil  
Laboratório de Planejamento e Projetos – Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

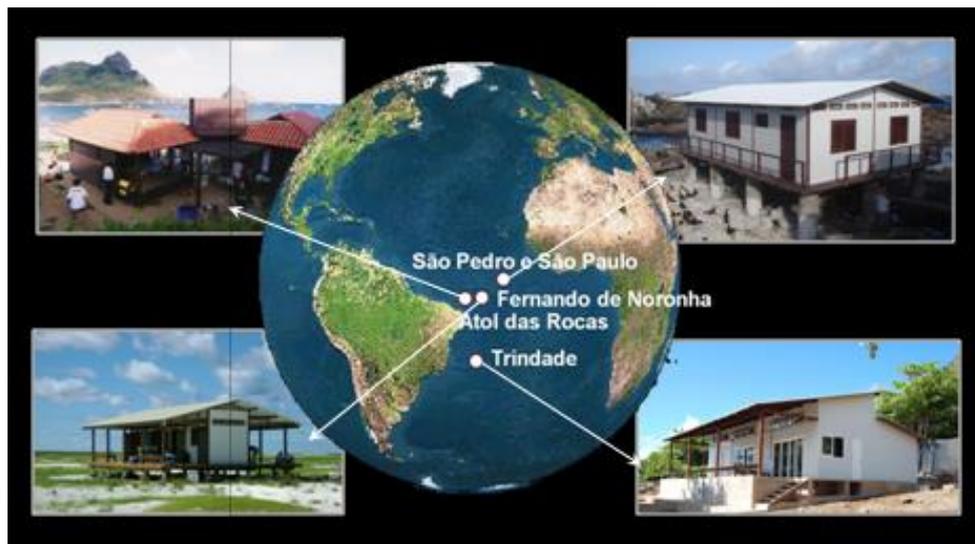
<sup>a</sup>bernardozdias@gmail.com, <sup>b</sup>fernandafukai@gmail.com, <sup>c</sup>arqtorio@gmail.com, <sup>d</sup>cristinaengel@pq.cnpq.br

**Palavras-chave:** sistemas construtivos, ilhas oceânicas, desempenho, sustentabilidade.

**Resumo.** A necessidade de prover edificações de apoio aos profissionais que possuem como lugar de trabalho locais inóspitos – geralmente áreas de preservação ambiental –, exige um profundo estudo desde sua concepção inicial, passando pelas etapas de construção, uso e operação, até o planejamento de seu desmonte ou demolição. Assim, esta pesquisa **objetiva** selecionar e classificar sistemas construtivos com potencial de atender aos condicionantes de construção em áreas inóspitas – como as ilhas oceânicas e outras áreas de interesse ambiental – de acordo com as dificuldades logísticas. A **metodologia** do estudo consistiu, primeiramente, em pesquisa bibliográfica e documental, buscando catalogar e sistematizar as características relevantes aos projetos e construções para tais áreas, bem como selecionar os sistemas construtivos com potencial de emprego nessas situações. Posteriormente foram definidos como parâmetros de análise os aspectos relacionados à segurança, ao conforto do usuário, à logística e aos critérios de sustentabilidade. Os sistemas construtivos foram então selecionados, avaliados e classificados de acordo com os critérios pré-estabelecidos. Como **resultado** foi elaborado um panorama do desempenho dos materiais/sistemas construtivos escolhidos (concreto-PVC, madeira serrada e madeira plástica) abordando as características necessárias para emprego em áreas inóspitas, particularmente em ilhas oceânicas. Dentre os materiais/sistemas construtivos avaliados, o que obteve o melhor resultado teórico foi o sistema construtivo em madeira plástica.

### Introdução

O interesse do governo brasileiro em realizar atividades militares e de pesquisa científica nas ilhas situadas em oceano profundo – as denominadas ilhas oceânicas –, torna necessária a instalação de abrigos permanentes para apoio aos profissionais que atuam nesses lugares, tais como o Atol das Rocas, o Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP), o Arquipélago de Fernando de Noronha, e a Ilha da Trindade (Figura 1). Entretanto, os condicionantes dos projetos e das construções para áreas inóspitas são rigorosos e requerem soluções eficientes em relação às condições climáticas, ambientais e, principalmente, de logística disponível [1]. A condição de Área de Preservação Ambiental desses locais e sua grande distância de zonas habitadas acentua a necessidade de controle sobre os materiais e componentes da obra e, conseqüentemente, de um projeto que esteja integrado e que preveja todas as possíveis interferências que poderão acontecer durante a construção e uso do edifício. Observa-se, por exemplo, que eventuais contratemplos que venham a ocorrer durante a obra podem não ter solução imediata com a logística disponível e, dessa forma, só poderem ser resolvidos quando ocorrer uma nova expedição ao local [1]. Além disso, os materiais ou sistemas construtivos que possuem reduzida durabilidade ou exijam manutenção constante geram gastos consideráveis com logística e causam impactos ambientais devidos aos processos de reposição, ou seja, desde o ônus ambiental da própria fabricação e beneficiamento de novos materiais, até o transporte para sua substituição.



**Figura 1:** Localização aproximada das ilhas oceânicas brasileiras e imagens de alguns edifícios presentes nesses locais.

Qualquer intervenção em áreas classificadas como de preservação ambiental sugere a adoção de critérios coerentes com essa condição especial e que busque a realização das obras com interferência mínima no ambiente, assim como durante o seu uso e manutenção [1]. Nesse sentido, no que se refere à escolha de materiais e sistemas construtivos, deve-se considerar a adequação aos condicionantes logísticos, ambientais, de desempenho dos componentes e de disponibilidade de mão de obra. Durante a fase de construção deve ser gerado o mínimo de resíduos, diminuindo assim o impacto sobre a fauna e flora do sítio de implantação da obra, ressaltando que mesmo os pequenos resíduos – que tendem a passar despercebidos nos meios urbanos tradicionais – podem representar risco ambiental em um local isolado. Um exemplo são os restos de tintas e vernizes que podem ser consumidos pelos animais locais, como os caranguejos. Este fato somado à necessidade de controle em relação à precisão dos sistemas construtivos apontam para o uso de elementos pré-fabricados e que permitam a pré-montagem no continente, tornando possível a visualização de problemas na construção antes que esta ocorra efetivamente no local definitivo [1].

## Objetivo

A pesquisa objetiva selecionar, analisar e classificar, segundo uma escala quantitativa, as técnicas construtivas com potencial de aplicação em construções projetadas para áreas inóspitas, especificamente para ilhas oceânicas.

A busca por sistemas construtivos que possam responder de forma satisfatória aos condicionantes logísticos, ambientais, de desempenho dos componentes e de disponibilidade de mão de obra – essenciais para as construções pautadas no conceito de eficiência e sustentabilidade – justifica a importância desse estudo, principalmente quando se trata de áreas ambientalmente frágeis e geograficamente isoladas.

## Metodologia

Primeiramente foi realizada pesquisa bibliográfica acerca dos sistemas construtivos e dos condicionantes ambientais de áreas inóspitas, com foco na situação logística que envolve as ilhas oceânicas. Foram feitos levantamentos das características dos sistemas construtivos de maior potencial de aplicação por meio de uma revisão bibliográfica e consultas a *web sites* de empresas fabricantes. Além disso, aproveitou-se o conhecimento acumulado e os trabalhos realizados pelas equipes de pesquisa do Laboratório de Planejamento e Projetos da Universidade Federal do Espírito Santo (LPP-UFES), que possui atuação na área de projetos de edifícios para sítios inóspitos.

A partir da pré-seleção de alguns sistemas construtivos, os mesmos foram analisados segundo os critérios propostos pela Norma Brasileira 15575 (Edificações Habitacionais – Desempenho) [2] e por critérios já sugeridos para avaliação de construções em áreas inóspitas [1]. Para cada critério foi designado um peso, assim como para o grupo no qual foi inserido; os pesos variaram entre 0,5, 1,0 e 2,0, sendo 0,5 para um critério ou grupo de menor relevância, 1,0 para um critério ou grupo de mediana relevância e 2,0 para um critério ou grupo de maior relevância, tendo em vista o contexto de uma ilha oceânica. Os grupos estabelecidos com os critérios foram: segurança, conforto do usuário, logística e sustentabilidade. Por sua vez, os sistemas construtivos selecionados foram avaliados nos critérios seguindo uma escala de valores que varia de 1 a 4, sendo 1 para péssimo, 2 para ruim, 3 para bom e 4 para excelente desempenho. A partir do desempenho nos critérios chegou-se ao desempenho em cada grupo e, com isso, ao valor do desempenho geral (entre 1 e 4) do sistema construtivo (Figura 2).

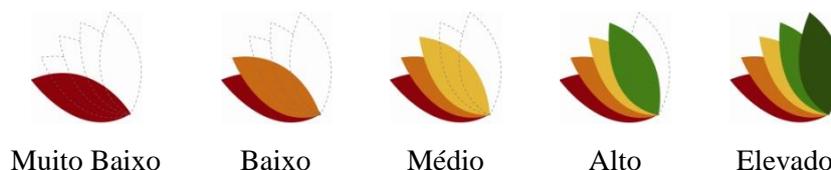


**Figura 2:** Intervalo dos valores finais possíveis de serem obtidos na avaliação de desempenho e respectiva equivalência qualitativa.

Para realizar a definição dos pesos para os critérios de desempenho e a avaliação dos sistemas construtivos foram utilizadas informações obtidas na revisão bibliográfica, incluindo artigos e relatórios técnicos elaborados por pesquisadores do LPP-UFES, além da própria experiência destes, considerando sua ampla atuação profissional em áreas inóspitas, particularmente em ilhas oceânicas. Entretanto, para a definição do desempenho dos sistemas no critério “Sustentabilidade”, inserido no grupo de mesmo nome, foi utilizado o Instrumento para Seleção de Materiais mais Sustentáveis (ISMAS), em fase final de desenvolvimento. Esse instrumento analisa questões ligadas à economia de matérias-primas, geração e gestão de resíduos [3], avaliando os materiais e sistemas construtivos conforme os critérios apresentados na Tabela 1 e de acordo com a escala mostrada na Figura 2.

**Tabela 1:** Critérios de avaliação utilizados no instrumento ISMAS [3].

Critérios – ISMAS
Critério 1: É possível ser reaproveitado, no todo ou em parte
Critério 2: É renovável
Critério 3: Dispensa materiais adicionais para acabamento
Critério 4: Possui elementos reciclados
Critério 5: A durabilidade independe de manutenção
Critério 6: Favorece a desmontagem visando o reaproveitamento
Critério 7: Favorece a baixa geração de resíduos



**Figura 2:** Índice de sustentabilidade para materiais e componentes avaliados pelo método proposto pelo ISMAS [3].

De posse de informações sobre as características dos materiais e sistemas construtivos – as quais foram utilizadas para definir seu desempenho nos vários critérios de avaliação estabelecidos – foi organizado um quadro comparativo, tendo como principal foco de análise a identificação de adequabilidade para sua adoção em projetos voltados para construção em áreas inóspitas.

## Resultados

Com base nas pesquisas realizadas foram selecionados 3 materiais/sistemas construtivos: concreto-PVC, madeira serrada e madeira plástica (Figura 3). A seleção foi feita considerando-se, além do próprio potencial do sistema para utilização em áreas inóspitas, os materiais e sistemas já utilizados nas edificações existentes em ilhas oceânicas, visando avaliar também os resultados do que já foi construído.

Seguem descritas as sínteses das características gerais dos materiais/sistemas construtivos escolhidos, considerados de maior relevância em relação ao foco da pesquisa:

- **Concreto-PVC:** com uso em expansão no Brasil para habitações de baixo custo [4], o sistema construtivo em concreto-PVC, por possuir considerável nível de pré-fabricação e permitir pré-montagem, foi utilizado na Estação Científica da Ilha da Trindade (ECIT) como alternativa ao sistema construtivo em madeira, utilizado nas estações científicas do Atol das Rocas e do ASPSP. O sistema é composto por perfis de PVC encaixáveis que atuam como fôrma para o concreto, que é moldado *in loco*. O concreto juntamente com os perfis de PVC – que permanecem após a cura desse, constituindo o acabamento final dos ambientes – conformam a estrutura/vedação do edifício [5]. A motivação principal para o uso dessa técnica foi o desejo de redução dos investimentos de manutenção da edificação – considerando que a madeira necessita de constantes repinturas – e no aumento da durabilidade dos componentes do edifício, como esquadrias e vedações, em locais de alta umidade e insolação. Porém, alguns estudos vêm apontando problemas com o PVC relacionados, principalmente, à qualidade do ar interno dos edifícios [6], principalmente em espaços confinados, e à poluição gerada em sua produção e descarte [7].
- **Madeira serrada:** de modo geral a madeira pode ser considerada um material adequado para construções em locais inóspitos, uma vez que elementos de madeira podem ser pré-fabricados, diminuindo custos, mão de obra necessária e geração de resíduos no local de implantação do edifício. Também admite pré-montagem, o que reduz possíveis erros na montagem final e facilita o transporte, visto que as peças podem ser projetadas com dimensões e peso que permitam o transporte e montagem sem auxílio de equipamentos ou veículos [8]. Seus resíduos, quando em contato com o ambiente, não causam grandes danos por serem de origem natural, podendo também ser reciclados e utilizados na fabricação de outros elementos. Quando adquirida de florestas manejadas de forma sustentável, a exploração da madeira reduz consideravelmente os impactos sobre a biodiversidade e os processos ecológicos, além de gerar benefícios sociais e econômicos [9]. Porém, características como inflamabilidade, variação dimensional devida à umidade e relativa constância de manutenção devem ser criteriosamente consideradas para sua utilização. Por outro lado, cuidados específicos no detalhamento dos projetos arquitetônicos são imprescindíveis [8].
- **Madeira-plástica:** pode ser definida como um produto industrializado feito principalmente de plástico e que possui, genericamente, seção transversal retangular e apresenta dimensões típicas dos produtos de madeira serrada [10]. No entanto, o desenvolvimento de pesquisas e tecnologias culminou com a produção de novos produtos e estendeu a aplicação do termo a madeiras plásticas de formatos e aplicações variadas. A maioria dos produtos de madeira plástica no mercado atual é obtida a partir de resinas virgens e recicladas de polietilenos (PE), sendo o polietileno de alta densidade (PEAD) o mais utilizado. Porém, ela também pode ser produzida por meio de outras resinas como o polipropileno (PP), o poliestireno (PS) e o policloreto de vinila (PVC), ou até mesmo a partir de misturas de diferentes resíduos plásticos. Algumas formulações utilizam cargas vegetais, tais como fibras naturais e serragem de madeira, ou ainda, minerais como o carbonato de cálcio, talco, e fibras de vidro. Essas cargas são adicionadas a fim de reduzir os custos com resinas plásticas [11] e melhorar as propriedades físicas (como a absorção de água), térmicas e mecânicas (como resistência à tração e à compressão) do produto,

possibilitando maior variedade de aplicações do material [12]. Tais fatos fazem a madeira plástica possuir um uso amplo, podendo substituir a madeira serrada em algumas situações e sendo atualmente empregada na construção civil e no paisagismo na forma de deques, mourões e pequenas pontes para pedestres, por exemplo. Como sistema construtivo se encontra em fase experimental e em 2012, a MPEC (Missão Evangélica de Apoio aos Pescadores) realizou no Pará a primeira experiência brasileira, construindo uma casa inteiramente com o material [13].



**Figura 3:** Exemplo de sistema construtivo em concreto-PVC, na Ilha de Trindade (à esquerda); em madeira serrada, no Atol das Rocas (ao centro); e em madeira plástica, no Pará [13].

A partir dos referenciais teóricos e da análise de relatórios de construção de edifícios implantados em ilhas oceânicas foram elaboradas as Tabela 2 e Tabela 3, contendo as informações relativas a cada critério de avaliação e os respectivos desempenhos dos materiais e sistemas construtivos selecionados. Destaca-se que a Tabela 2 apresenta o desempenho dos sistemas apenas em forma numérica, provendo uma visão geral desses, enquanto na Tabela 3 são realizadas as análises detalhadas.

**Tabela 2:** Avaliação de desempenho dos sistemas construtivos para áreas inóspitas – visão geral

Nome do grupo (peso)	Critério de desempenho (peso)	Sistemas construtivos/ Materiais		
		Concreto-PVC	Madeira	Madeira-plástica
Segurança (2)	Segurança estrutural (2)	4	3	3
	Segurança ao fogo (1)	2	3	2
<b>Desempenho do sistema construtivo no grupo<sup>1</sup></b>		<b>6,66</b>	<b>6,00</b>	<b>5,33</b>
Conforto do usuário (2)	Estanqueidade (2)	3	3	3
	Conforto térmico (2)	3	3	3
	Qualidade do ar (1)	1	3	2
	Conforto visual (1)	4	3	4
	Conforto acústico (1)	3	3	3
<b>Desempenho do sistema construtivo no grupo<sup>1</sup></b>		<b>5,71</b>	<b>6,00</b>	<b>6,00</b>
Logística (1)	Manutenção (2)	4	2	4
	Logística (2)	2	4	4
	Custo (0,5)	4	3	2
<b>Desempenho do sistema construtivo no grupo<sup>1</sup></b>		<b>3,11</b>	<b>3,00</b>	<b>3,77</b>
Sustentabilidade (0,5)	Flexibilidade (1)	1	4	4
	Durabilidade (2)	3	4	4
	Sustentabilidade (2)	2	3	3
<b>Desempenho do sistema construtivo no grupo<sup>1</sup></b>		<b>1,10</b>	<b>1,80</b>	<b>1,80</b>
<b>Desempenho geral do sistema construtivo<sup>2</sup></b>		<b>3,01</b>	<b>3,05</b>	<b>3,07</b>

<sup>1</sup>O desempenho do sistema construtivo no grupo foi calculado conforme a equação a seguir:

$$\text{Desempenho no grupo} = \left( \frac{(\text{Nota critério 1} \times \text{Peso critério 1}) + (\text{Nota critério 2} \times \text{Peso critério 2}) \dots}{\text{Peso do critério 1} + \text{Peso do critério 2} \dots} \right) \times \text{Peso do grupo}$$

<sup>2</sup>O desempenho geral do sistema construtivo foi calculado conforme a equação a seguir:

$$\text{Desempenho geral} = \frac{\text{Desempenho no grupo 1} + \text{Desempenho no grupo 2} \dots}{\text{Peso do grupo 1} + \text{Peso do grupo 2} \dots}$$

**Tabela 3:** Avaliação de desempenho dos sistemas construtivos (concreto-PVC, madeira serrada e madeira plástica) para áreas inóspitas

<b>SISTEMAS CONSTRUTIVOS/ MATERIAIS</b>				
<b>GRUPO (peso)</b>	<b>CRITÉRIO DE DESEMPENHO (peso)</b>	<b>CONCRETO-PVC (desempenho)</b>	<b>MADEIRA SERRADA (desempenho)</b>	<b>MADEIRA PLÁSTICA (desempenho)</b>
Segurança	Segurança estrutural: estabilidade e resistência mecânica	No sistema concreto-PVC a resistência às cargas verticais e horizontais e a estabilidade global do edifício são dadas pelo concreto e por armaduras verticais e horizontais, formando paredes estruturais inseridas no interior dos perfis de PVC [5]. Para cada intensidade de carga a espessura da parede poderá variar e, para isso, podem ser escolhidos perfis de PVC com diferentes espessuras e concreto de diferentes resistências, adequando o sistema às solicitações estruturais.	As espécies de madeira escolhidas para compor a estrutura do edifício devem possuir resistência natural à biodeterioração ou apresentar permeabilidade suficiente para a impregnação dos produtos dos tratamentos preservativos [14]. Assim, as madeiras de média e alta densidade são as que apresentam melhor desempenho em ilhas oceânicas por possuírem maior resistência aos esforços mecânicos e à deterioração.	Apresenta resistência satisfatória aos esforços de tração normal e de cisalhamento, quando comparada às madeiras sólidas de coníferas e folhosas listadas na NBR 7190/1997 (Projeto de Estruturas de Madeiras) [14], porém possui menor resistência à flexão. Por outro lado, com o aumento na quantidade de materiais fibrosos em sua composição é possível elevar sua resistência à flexão [15].
	2	4	3	3
Segurança	Segurança ao fogo: risco de início e propagação de incêndio	O sistema resiste estruturalmente de forma razoável a incêndios devido à presença do concreto. Além disso, o PVC apenas entra em combustão quando permanentemente exposto a uma fonte de energia ou chama, sendo liberado no processo de combustão CO <sub>2</sub> (gás asfíxiante) e HCl (gás irritante) [16]. Entretanto, estudos mostram que quando em combustão, o PVC também libera compostos orgânicos tóxicos, gases ácidos e metais pesados, que podem contaminar o ambiente e causar danos à saúde humana [7].	Quando robustos e expostos ao fogo, os componentes de madeira tendem a formar uma camada de carbonização em sua superfície, que atua como barreira à propagação do calor para o interior da peça, retardando sua deterioração [17]. Porém, em peças esbeltas, como vedações em madeira serrada, tal fato não acontece. Além disso, por ser um material orgânico e de combustão relativamente fácil, deve ser previsto em projeto medidas adicionais de prevenção e de combate a incêndios [8].	Plásticos como o PP e PEAD são considerados inflamáveis [11]. Porém, para prover segurança no uso da madeira plástica, aditivos são empregados em sua formulação. Assim, utilizam-se substâncias retardadoras de chamas, que aumentam o ponto de ignição do material, e materiais inertes, que reduzem a velocidade de propagação do fogo [11]. Outra opção é o uso de plásticos não inflamáveis como base, como o PVC [11]. Nesse caso, deve-se considerar os problemas relatados no sistema concreto-PVC. No uso do PEAD, há a liberação de compostos orgânicos voláteis (COVs) [11].
2	1	2	3	2
<b>Desempenho do sistema construtivo no grupo</b>		<b>6,66</b>	<b>6,00</b>	<b>5,33</b>
Conforto do usuário	Estanqueidade: estanqueidade aos gases, líquidos e sólidos	O PVC é considerado um material impermeável, o que reduz a possibilidade de inchamento dos componentes. Assim, também devido às características do PVC, o sistema concreto-PVC atende às condições de estanqueidade às águas pluviais exigidas pela NBR 15575 [5]. Por sua	Devido à absorção ou perda de umidade para o ambiente as peças de madeira podem sofrer variação dimensional, como retração ou inchamento [14], causando problemas como frestas no encaixe entre as peças [8]. Porém, se observados os cuidados na extração e	As peças de madeira plástica podem sofrer retração com o passar do tempo causada por seu processo de fabricação e por variações térmicas [11]. Por outro lado, os polímeros base da madeira plástica possuem baixa absorção de água, porém, após adicionadas

**SISTEMAS CONSTRUTIVOS/ MATERIAIS**

<b>GRUPO (peso)</b>	<b>CRITÉRIO DE DESEMPENHO (peso)</b>	<b>CONCRETO-PVC (desempenho)</b>	<b>MADEIRA SERRADA (desempenho)</b>	<b>MADEIRA PLÁSTICA (desempenho)</b>
		vez, a estanqueidade à água das vedações internas de áreas molhadas é considerada satisfatória [5], embora possam ocorrer falhas nos encaixes entre painéis e nas uniões com as esquadrias.	beneficiamento do material, tais problemas são reduzidos e, com isso, o desempenho do sistema construtivo é maximizado.	as cargas vegetais, minerais, pigmentos e aditivos, esse comportamento pode se alterar [12]. Desse modo, frestas e empenamentos das peças não são raros.
	2	3	3	3
	Conforto térmico: temperatura do ambiente interno	Simulações computacionais mostram que edifícios térreos com vedações externas de cor clara e espessura de 80mm juntamente à cobertura de telhas cerâmicas sobre laje de concreto armado de 100mm possuem desempenho térmico satisfatório para todas as zonas bioclimáticas brasileiras e cumprem o disposto na NBR 15575 [5]. Contudo, caso se altere algum dos elementos construtivos citados pode-se modificar as características térmicas do edifício e, eventualmente, ocorrer o descumprimento das exigências mínimas da norma.	Apesar de a madeira ser considerada um material isolante térmico, a técnica construtiva geralmente empregada em vedações é a de painéis esbeltos únicos, o que pode prejudicar o desempenho térmico final do edifício [8]. Porém, a madeira serrada permite a utilização de outros sistemas de vedação, como painéis sanduíche, ampliando a isolamento térmica.	Por ser utilizada em sistema construtivo em desenvolvimento não foram encontrados estudos tratando deste tema para a madeira plástica. Porém, ao analisar os coeficientes de condutibilidade térmica, pode-se inferir que a madeira é um melhor isolante, com coeficiente de 0,12 W/(m·K) [18]. Já o PP, com coeficiente de 0,22 W/(m·K), e o PVC, com 0,17 W/(m·K) [18], também possuem desempenho satisfatório, com baixa condução de calor. Por outro lado o PEAD possui coeficiente maior: 0,50 W/(m·K) [18]. Entretanto, deve-se considerar a variação devida à carga vegetal embutida no material. Além disso, podem ser projetados sistemas de vedação em painéis sanduíche, ampliando a isolamento térmica do edifício.
	2	3	3	3
	Qualidade do ar: pureza do ar e limitação de odores	Por não estarem quimicamente ligados ao PVC, os ftalatos – substância relacionada a problemas de reprodução e desenvolvimento em animais e suspeita de causar disfunções endócrinas em seres humanos – se desprendem dos elementos de PVC e se misturam ao ar dos ambientes ou se prendem às superfícies de objetos [6]. Além disso, quando exposto ao calor ou aos raios ultravioleta o PVC pode liberar HCl [11], além de outras substâncias tóxicas e metais pesados [12].	Componentes de madeira não liberam substâncias tóxicas [1], porém alguns tipos de preservantes usados para inibir o aparecimento e desenvolvimento de agentes deterioradores (fungos, insetos, etc.) e aumentar sua vida-útil podem comprometer a qualidade do ar interno das edificações por liberar compostos orgânicos voláteis [12] ou outras substâncias nocivas, como arsênico [19] e cromo hexavalente, sendo esse último frequentemente correlacionado a irritações da pele e ao câncer [20].	Por ser porosa e várias vezes possuir cargas vegetais em sua composição – o que aumenta a absorção de água –, a madeira plástica pode necessitar de preservantes a fim de inibir sua biodeterioração [11]. Assim como para a madeira serrada, alguns preservantes podem liberar substâncias nocivas como, por exemplo, COVs [12], arsênico [19] e cromo hexavalente [20]. Além disso, plásticos que liberam substâncias tóxicas, como o PVC, podem compor a madeira plástica [12].
	1	1	3	2

**SISTEMAS CONSTRUTIVOS/ MATERIAIS**

<b>GRUPO (peso)</b>	<b>CRITÉRIO DE DESEMPENHO (peso)</b>	<b>CONCRETO-PVC (desempenho)</b>	<b>MADEIRA SERRADA (desempenho)</b>	<b>MADEIRA PLÁSTICA (desempenho)</b>
	Conforto visual: aclaramento, aspecto das superfícies	Os perfis de PVC podem ser adquiridos em diversas cores e texturas, podendo ser feita compatibilização entre o padrão da superfície dos perfis e o ambiente nos quais serão instalados como, por exemplo, perfis com cores claras para locais que recebem pouca luz natural.	Algumas madeiras possuem cores escuras, absorvendo quantidade considerável da luz natural e, conseqüentemente, prejudicando a iluminação dos ambientes internos [8]. No entanto, o material pode receber pintura, sendo esse um procedimento rotineiro em edificações com vedações em madeira serrada.	As peças de madeira plástica podem ser adquiridas em cores distintas, podendo ser feita a compatibilização entre as cores da superfície dos perfis e o ambiente nos quais serão instalados.
	1	4	3	4
2	Conforto acústico: isolamento acústica e níveis de ruído	As vedações situadas entre unidades habitacionais (paredes de geminação) com espessura de 160mm e as vedações situadas em fachadas com espessura de 80mm cumprem as exigências mínimas de desempenho acústico estipuladas pela NBR 15575 para tais situações [5]. Por outro lado, paredes mais espessas podem ser especificadas, podendo elevar o índice de isolamento acústico.	Apesar de a madeira ser considerada um material isolante acústico, a técnica construtiva geralmente empregada em vedações de ambientes é a de painéis esbeltos únicos, o que compromete a isolamento acústica final [8]. Entretanto, tal problema pode ser minimizado através da utilização de outros sistemas de vedação, como painéis sanduíche.	Por ser utilizada em sistema construtivo em desenvolvimento não foram encontrados estudos tratando deste tema para a madeira plástica. Entretanto, ressalta-se que o PP, frequentemente empregado na composição da madeira plástica, possui excelentes propriedades de amortecimento acústico [21]. Além disso, a adição de carga vegetal tende a melhorar a absorção acústica dos elementos em madeira plástica [21].
	1	3	3	3
<b>Desempenho do sistema construtivo no grupo</b>		<b>5,71</b>	<b>6,00</b>	<b>6,00</b>
Logística	Manutenção: facilidade e frequência de manutenção	De modo geral os perfis de PVC, que são os componentes do sistema construtivo concreto-PVC que ficarão expostos às intempéries, não necessitam de manutenção frequente, sendo esta realizada apenas com água e sabão neutro [22]. Além disso, os perfis de PVC dispensam pinturas ou seladores, sendo também impermeáveis e resistentes a insetos e fungos [12].	A manutenção do sistema em madeira serrada é relativamente simples, familiar na cultura brasileira, não necessitando de mão de obra especializada. As atividades de manutenção requerem, basicamente, lixamento e pintura. No entanto, para edificações em ilhas oceânicas, a manutenção deve ser realizada, no mínimo, uma vez ao ano, devido à maior incidência de umidade e raios solares sobre a madeira [8].	Geralmente necessita apenas de manutenção com água e sabão neutro [12]. Não precisa ser lixada, envernizada ou receber acabamentos, uma vez que é fabricada pigmentada, reduzindo assim os custos com manutenção. Porém, aceita pinturas, colas e ceras. Pode ser aparafusada e manuseada com equipamentos similares aos utilizados na madeira serrada [12]. Destaca-se, no entanto, a pouca quantidade de edificações construídas com esse material que permitam afirmações definitivas sobre as manutenções ao longo do tempo.
	2	4	2	4

**SISTEMAS CONSTRUTIVOS/ MATERIAIS**

<b>GRUPO (peso)</b>	<b>CRITÉRIO DE DESEMPENHO (peso)</b>	<b>CONCRETO-PVC (desempenho)</b>	<b>MADEIRA SERRADA (desempenho)</b>	<b>MADEIRA PLÁSTICA (desempenho)</b>
1	Logística: facilidade de transporte das peças (peso, área, volume, volumetria); mão de obra necessária	De acordo com o Relatório Técnico de Atividades elaborado para a Estação Científica da Ilha da Trindade, os perfis rígidos de PVC utilizados no sistema construtivo concreto-PVC foram considerados leves, de fácil manuseio e transporte. Além disso, o sistema não necessita de mão de obra especializada, apenas treinada [22]. Entretanto, é necessário o deslocamento de sacos de cimento e água doce, além de equipamentos para mistura do concreto, o que pode ser inadequado em algumas situações cuja logística disponível – principalmente de transporte – sejam precárias.	A madeira serrada adéqua-se ao uso em locais inóspitos uma vez que a pré-fabricação das peças reduz a necessidade de permanência da mão de obra nos locais de instalação. Além disso, facilita o transporte uma vez que as peças são projetadas para que pessoas possam locomovê-las sem grandes dificuldades [1]. Observa-se ainda que no Brasil é comum o trato com a madeira, sendo relativamente fácil a obtenção de mão de obra com alguma habilidade para a montagem da edificação.	As peças de madeira plástica podem ser trabalhadas de forma semelhante às de madeira serrada, podendo ser projetadas com volume e volumetria similares [10]. De modo geral a madeira plástica possui densidade variando entre 900kg/m <sup>3</sup> e 1100kg/m <sup>3</sup> , sendo também neste aspecto parecida com as madeiras serradas de alta densidade, que são empregadas nos edifícios em áreas inóspitas e possuem densidade variando, aproximadamente, entre 800kg/m <sup>3</sup> e 1300kg/m <sup>3</sup> . No entanto, tratando-se de um material relativamente novo no mercado brasileiro, pode exigir algum conhecimento específico para seu manuseio no momento da montagem de uma edificação.
	2	2	4	4
	Custo: custo inicial	O sistema construtivo apresenta baixo custo inicial, sendo atualmente empregado na execução de habitações de interesse social e escolas [4].	As madeiras utilizadas nos sistemas estruturais de construções em ilhas oceânicas são predominantemente de média e alta densidade, e preferencialmente isenta de nós, o que eleva os preços dos componentes.	A madeira plástica atualmente possui custo de obtenção mais elevado que a madeira serrada [11].
0,5	4	3	2	
<b>Desempenho do sistema construtivo no grupo</b>		<b>3,11</b>	<b>3,00</b>	<b>3,77</b>
Sustentabilidade	Flexibilidade: possibilidade de adaptações da construção a futuras demandas e novas funções	O sistema construtivo concreto-PVC apresenta flexibilidade ou adaptabilidade reduzida após finalizada a construção, uma vez que os perfis rígidos de PVC são preenchidos com concreto moldado <i>in-loco</i> formando paredes estruturais. Assim, a alteração do local das instalações técnicas (hidráulica, elétrica, etc.), caso essas não sejam aparentes, ou mesmo das vedações, pode ser inexecutável.	Por utilizar técnica construtiva baseada em pré-fabricação, encaixes e parafusação, o sistema construtivo em madeira permite o desmonte de suas peças e a remontagem em outro local com o mínimo de avarias [8]. Além disso, os componentes de madeira possibilitam a execução de ajustes como redução de dimensões e mudança em sua volumetria, facilitando seu emprego em um novo uso.	Pode-se utilizar técnica construtiva baseada em pré-fabricação, encaixes e ligações com parafusos, permitindo que o sistema construtivo tenha suas peças desmontadas e remontadas em outro local com o mínimo de avarias. Além disso, os componentes de madeira plástica possibilitam a execução de ajustes como redução de dimensões e mudança em sua volumetria, facilitando seu emprego em um novo uso.
	1	1	4	4

**SISTEMAS CONSTRUTIVOS/ MATERIAIS**

<b>GRUPO (peso)</b>	<b>CRITÉRIO DE DESEMPENHO (peso)</b>	<b>CONCRETO-PVC (desempenho)</b>	<b>MADEIRA SERRADA (desempenho)</b>	<b>MADEIRA PLÁSTICA (desempenho)</b>
	Durabilidade: conservação do desempenho ao longo do tempo <sup>1</sup>	Alguns autores afirmam que a adição de estabilizantes (substâncias que minimizam a degradação do PVC) mantém o desempenho do produto final ao longo do tempo quando exposto às intempéries [16]. Entretanto, outros estudos colocam que, mesmo com a adição de estabilizantes, a exposição aos raios ultravioleta e ao calor diminuem a resistência mecânica do PVC [23], causando também sua descoloração [24]. Além disso, alguns componentes quando utilizados em locais com clima de temperaturas muito baixas ou muito altas, geralmente apresentam durabilidade de cerca de 10 anos, necessitando posterior troca [12].	A especificação adequada do tipo de madeira a ser utilizado no edifício e o desenvolvimento de soluções técnicas em consonância com o local de implantação do projeto, como proteção das intempéries e à umidificação, são essenciais para a conservação do desempenho dos elementos [1]. Além disso, manutenções realizadas na frequência correta e cuidados na extração da madeira e na confecção das peças evitam sua prematura substituição. Quando tais ações são tomadas, a madeira serrada apresenta elevada durabilidade, mesmo em condições extremas como as de ilhas oceânicas [8]. Ressalta-se, que a eventual redução da vida útil do sistema construtivo muitas vezes está associada aos componentes metálicos de ligação – tais como pregos, parafusos, etc. – e não ao material madeira [1].	Mesmo quando são utilizadas cargas vegetais em sua composição, a madeira plástica se mostra praticamente imune à ação de cupins, já que grande parte de tais cargas permanecem envoltas pelo polímero base da madeira plástica [11]. Em casos mais graves, os cupins danificam somente as cargas vegetais presentes na superfície das peças de madeira plástica [11]. Além disso, formulações que contêm antioxidantes e minerais criam uma barreira natural contra a degradação microbiana [11]. Por outro lado, quando exposta às intempéries a madeira plástica sofre processo de descoloração, não afetando, entretanto, suas propriedades mecânicas, como resistência à flexão, por exemplo [25].
	2	3	4	4
	Sustentabilidade: economia de matérias-primas, geração e gestão de resíduos	A avaliação pelo ISMAS classificou o sistema concreto-PVC com o índice de sustentabilidade “Baixo”. <sup>2</sup>	A avaliação pelo ISMAS classificou o sistema construtivo em madeira serrada com um índice de sustentabilidade “Alto”.	A avaliação pelo ISMAS classificou a madeira plástica com um índice de sustentabilidade “Alto”.
0,5	2	2	3	3
<b>Desempenho do sistema construtivo no grupo</b>		<b>1,10</b>	<b>1,80</b>	<b>1,80</b>
<b>Desempenho geral do sistema construtivo</b>		<b>3,01</b>	<b>3,05</b>	<b>3,07</b>

<sup>1</sup> Ressalta-se que vários estudos sobre o processo de envelhecimento de materiais são realizados a partir de testes em laboratório e podem apresentar resultados distintos daqueles realizados em condições climáticas naturais [24].

<sup>2</sup> A avaliação no ISMAS do sistema construtivo concreto-PVC foi realizada em partes, porém sempre pressupondo o sistema como um todo, uma vez que o instrumento realiza os testes para apenas um material por vez. Assim, primeiramente avaliou-se o concreto e em seguida o PVC, chegando-se ao resultado final para o sistema pela média aritmética do resultado dos dois materiais.

Baseando-se nas Tabela 2 e Tabela 3 é possível observar que os 3 sistemas estudados alcançaram desempenho entre 2,50 e 3,25, o que corresponde a “Bom” na escala apresentada na Figura 2, sendo o sistema construtivo que utiliza a madeira plástica o que alcançou maior desempenho final, apesar de todos apresentarem valores próximos. Ressalta-se que o desempenho final não deve ser analisado isoladamente, devendo também serem examinadas as informações que geraram tais valores. Por exemplo: o sistema concreto-PVC obteve desempenho final próximo aos demais, porém o fato de estudos indicarem que o PVC libera no ar substâncias nocivas durante sua vida útil e forma compostos tóxicos quando em combustão pode limitar consideravelmente o uso desse sistema.

Além disso, deve-se ter em vista que os desempenhos obtidos dizem respeito a alguns sistemas construtivos, e que, por vezes, apresentam resultados gerais e que podem variar de acordo com as técnicas construtivas ou com as características dos materiais. Nesse sentido destaca-se a madeira serrada, que pode apresentar mudanças no sistema de vedações – por exemplo, de peças esbeltas únicas para painéis sanduíche – que modificaria o nível de desempenho do sistema em alguns critérios. Também a madeira plástica, dependendo de sua composição, pode ter sua avaliação alterada. Entretanto, as análises foram realizadas considerando uma situação padrão e representam o cerne de cada sistema construtivo e material, explicitando aos profissionais responsáveis pelas decisões projetuais os problemas e potencialidades para sua efetiva utilização.

### Considerações Finais

O método adotado permitiu o alcance dos objetivos de forma apropriada, no entanto, os resultados obtidos apontaram para a necessidade de aprimoramento da pesquisa, seja através da ampliação dos materiais e técnicas considerados, seja através de ensaios específicos destes. Recomenda-se o aprofundamento das análises em relação à madeira plástica considerando que, a princípio, aparenta ser um material adequado para se utilizar em ilhas oceânicas, porém sobre o qual ainda há poucos dados relacionados às suas propriedades e desempenho em um sistema construtivo. Nesse sentido – e partindo-se do princípio que a madeira serrada já foi amplamente testada para a situação considerada nesta pesquisa –, recomenda-se também o aprimoramento das pesquisas sobre o PVC, uma vez que estudos sobre um mesmo tema, como durabilidade e segurança ao fogo, por exemplo, frequentemente apresentam resultados antagônicos, dificultando uma avaliação confiável.

### Referências

- [1] C. E. Alvarez: *Metodologia para construção em áreas de difícil acesso e de interesse ambiental: aplicabilidade na Antártica e nas ilhas oceânicas brasileiras*. Tese, São Paulo, SP (2003).
- [2] Associação Brasileira de Normas Técnicas: *NBR 15575: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais*, Rio de Janeiro, RJ (2010).
- [3] M. Bissoli-Dalvi: *ISMAS: a sustentabilidade como premissa para a seleção de materiais*, (2014) (Tese em andamento).
- [4] Téchne: *Como construir: Casas com painéis de PVC preenchidos com concreto*, edited by PINI, São Paulo, SP (2013).
- [5] Sistema Nacional de Avaliações Técnicas: *DATec nº 017: Sistema Construtivo Global de paredes constituídas por painéis de PVC preenchidos com concreto*, Brasília, DF (2013).
- [6] U. Heudorf, V. Mersch-Sundermann, J. Angerer: *Phthalates: Toxicology and exposure*, edited by Elsevier B. V., (2007).
- [7] M. Wey, W. Ou, Z. Liu, H. Tseng, W. Yang, B. Chiang: *Pollutants in incineration flue gas*, edited by Elsevier B. V., (2001).

- [8] A. B. Woelffel: *Avaliação da adequação de sistemas construtivos em madeira na produção de edificações em ilhas oceânicas: estudos de caso no Atol das Rocas e nos Arquipélagos de Fernando de Noronha e São Pedro e São Paulo*. Dissertação, Vitória, ES (2011).
- [9] G. Nebel, L. Quevedo, J. B. Jacobsen and F. Helles: *Development and economic significance of forest certification: the case of FSC in Bolivia*, edited by Elsevier B. V., (2005).
- [10] American Society for Testing and Materials: *D883: Standard Terminology Relating to Plastics*, West Conshohocken, PA (2012).
- [11] A. A. Klyosov: *Wood-Plastic Composites*, edited by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ (2007).
- [12] M. Calkins: *Materials for Sustainable Sites: a complete guide to the evaluation, selection, and use of sustainable construction materials*, edited by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ (2009).
- [13] Informação obtida em [http://marcasitehost.com.br/romanplast/?page\\_id=7](http://marcasitehost.com.br/romanplast/?page_id=7), em 28/06/2013.
- [14] Associação Brasileira de Normas Técnicas: *NBR 7190: Projetos de estruturas de madeira*, Rio de Janeiro, RJ (1997).
- [15] C. A. Correa, C. N. P. Fonseca, S. Neves, C. A. Razzino, E. Hage Jr: *Compósitos Termoplásticos com Madeira*, edited by ABPol, São Carlos, SP (2003).
- [16] A. Rodolfo Jr, L. R. Nunes and W. Ormanji: *Tecnologia do PVC*, edited by ProEditores/Braskem, São Paulo, SP (2006).
- [17] M. J. M. Figueroa, P. D. Moraes: *Comportamento da madeira a temperaturas elevadas*, edited by Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Porto Alegre, RS (2009).
- [18] International Organization for Standardization: *ISO: 10456:2007 Building materials and products – Hygrothermal properties – Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values*, 2007.
- [19] U.S. Environmental Protection Agency: *Pesticides: Topical & Chemical Fact Sheets: Chromated Copper Arsenate (CCA)*, (2011).
- [20] U.S. Environmental Protection Agency: *Pesticides: Topical & Chemical Fact Sheets: Acid Copper Chromate (ACC) Residential Uses Won't be Registered*, (2007).
- [21] E. Markiewicz, D. Pauksza and S. Borysiak: *Acoustic and Dielectric Properties of Polypropylene-Lignocellulosic Materials Composites*, edited by InTech, Rijeka, PG (2012).
- [22] A. B. Woelffel: *Estação Científica da Ilha da Trindade: Relatório Técnico de Atividades*, (2010).
- [23] H. A. Essawy, N. A. A. El-Wahab, M. A. A. El-Ghaffar: *PVC-laponite nanocomposites: Enhanced resistance to UV radiation*, edited by Elsevier B. V., (2008).
- [24] I. Jakubowicz: *Effects of artificial and natural ageing on impact-modified poly(vinyl chloride) (PVC)*, edited by Elsevier B. V., (2001).
- [25] American Society for Testing and Materials: *D6662: Standard Specification for Polyolefin-Based Plastic Lumber Decking Boards*, West Conshohocken, PA (2013).

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) pelo apoio à pesquisa.