

## **Avaliação Multicritério dos Custos Ambientais de Três Alternativas de Parede.**

BEDOYA, Sandra Patricia Oquendo <sup>[1]</sup>, LOPES, Matheus de Oliveira <sup>[2]</sup>, BRASIL, Ricardo <sup>[3]</sup>, PRAT, Bernat Vinolas <sup>[4]</sup>

BEDOYA, Sandra Patricia Oquendo; et.al. **Avaliação Multicritério dos Custos Ambientais de Três Alternativas de Parede**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 03, Ed. 04, Vol. 05, pp. 45-53, Abril de 2018. ISSN:2448-0959

### **Resumo**

No setor da construção civil o uso e manejo de recursos naturais para extração de matérias primas é de vital importância em relação com os aspectos de sustentabilidade. O conhecimento dos custos de cada material empregado, os impactos ambientais provenientes dos consumos energéticos e geração de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), permite a toma de decisões mais sustentáveis sobre o material e técnica a ser utilizada para a construção. Este estudo apresenta uma análise comparativa através de uma avaliação multicritério de três alternativas de parede entre o método alternativo de tijolo de solo-cimento e dos mais tradicionais, bloco de concreto e o tijolo cerâmico. Através de metodologia multicritério foram calculados, para cada tipo de parede os custos e os consumos de CO<sub>2</sub> e energia de forma a se obter um padrão comparativo em termos de valor monetário e de sustentabilidade, visando a escolher a melhor alternativa para uma construção sustentável. Sendo que a parede construída com a técnica de solo-cimento resulto ter os melhores resultados, mostrando-se a alternativa mais econômica e no mesmo tempo a mais sustentável. A escolha dos materiais empregados na construção baseados nos impactos econômicos e ambientais constitui-se em uma base importante na escolha de decisões mais sustentáveis.

Palavras-chaves: Tijolo Solo-Cimento, Sustentabilidade, Construção.

### **Introdução**

A importância atual de construir acorde com a visão de sustentabilidade <sup>[5]</sup> tem implementado dentro dos projetos de construção critérios econômicos, ambientais e sociais, por isto a escolha dos materiais de construção possui um peso expressivo sobre o impacto ambiental, fatores como a energia necessária para a produção do material e as emissões de CO<sub>2</sub> resultantes da fabricação dos materiais são uma informação relevante na análise do impacto ambiental causado durante as construção de qualquer edificação. MONICH et al (2010).

A escolha de materiais de construção representa um importante campo da engenharia ambientalmente responsável a obtenção dos materiais correntes na construção requer bastante energia durante as várias fases (extração, transporte, transformação, aplicação, demolição e eliminação ou reciclagem), associada à liberação de gases poluentes para a atmosfera em quantidades significativas MONICH et al (2010). O resultado dessa análise, associado aos resultados de avaliação econômica e as preferências dos interessados, permitirá a tomada de decisão final sobre o material a utilizar, SOARES, SOUZA E PEREIRA (2006).

[A extração de matérias primas da indústria da construção, causa danos a paisagem, habitats natural e ecossistemas, danos irreversíveis, além disso os materiais de construção necessitam de gastos energéticos para sua produção e podem gerar poluição no ar, água ou terra durante sua extração manufatura utilização e disposição final, SATTLER (2000).

Ainda de acordo com Soares et al (2006), a indústria da construção civil exerce impacto significativo sobre a economia de uma nação e, portanto, pequenas alterações nas diversas fases do processo construtivo podem promover, além de mudanças importantes na eficiência ambiental e redução dos gastos operacionais de uma obra, maior incentivo em investimentos no setor

Considerando o grande déficit habitacional e a busca de materiais não poluentes, renováveis e de baixo custo em contrapartida aos industrializados, que têm muitas vezes alto consumo de energia e são centralizadores em cidades grandes, é importante resgatar a tecnologia de construção artesanal por que além de gerar trabalho e evitar os custos de transporte de material, possibilita a integração do profissional com a comunidade em projetos de autoconstrução. Dentro desta perspectiva surge o tijolo ecológico de solo-cimento como uma opção sustentável de construção, a produção de um tijolo de solo-cimento não consome energia evitando a geração de gases efeito estufa, o consumo de água é menor que na produção industrial de tijolos, sendo um método de altos benefícios ambientais, além de ter vantagens econômicas como ser um material de baixo custo que não precisa de mão de obra especializada nem transporte de material, quando a terra se encontra disponível no próprio local.

O solo é um material apropriado para as mais diversas aplicações em construções devido a sua abundancia, facilidade de obtenção e de manuseio e baixo custo, GRANDE (2003). Os materiais e elementos de construção à base de terra são mais sustentáveis, porque a terra é abundante em qualquer local e porque as técnicas utilizadas para construção desses materiais e elementos construtivos são normalmente simples, MURTA (2010).

Este Trabalho de pesquisa está inserido no projeto: “Desenvolvimento de Habitações Saudáveis e Sustentáveis em Comunidades Rurais”. O objetivo deste estudo é apresentar uma análise comparativa através de uma avaliação multicritério de três alternativas de parede entre o método alternativo de tijolo de solo-cimento e dos mais tradicionais, bloco de concreto e o tijolo cerâmico, para cada tipo de parede foram calculados os custos e os consumos de CO<sub>2</sub> e energia de forma a se obter um padrão comparativo em termos de valor monetário e de sustentabilidade, visando a escolher a melhor alternativa para uma construção sustentável.

A análise multicritério a decisão (AMD), mais conhecido no Brasil como sistema de apoio a decisão, consiste em um conjunto de técnicas para auxiliar a um indivíduo, grupo de pessoas ou comitê de técnicos ou dirigentes a tomar decisões acerca de um problema complexo, avaliando e escolhendo alternativas para soluçona-lo segundo diferentes critérios e pontos de vista. JANUZZI et al (2009)

## **Metodologia**

Existem grande número de métodos que podem ser usados no analise multicritério, para este trabalho se utilizara a teoria de utilidade multiatributo ou MAUT – *multiattribute utility theory*, que é um método discreto (número finito de alternativas) que pode auxiliar a fazer avaliações integradas e objetivas, este se desenvolve através fases que vão desde a identificação das alternativas, definição de critérios e atributos,

determinação de pesos de importância para cada um, transformação de valores adimensionais que permitam realizar a comparação das diferentes unidades a serem avaliadas e análises da alternativa melhor avaliada.

Visando a obter a melhor alternativa de construção de parede em termos de sustentabilidade, as alternativas que serão avaliadas são:

1. Alternativa tijolo de solo-cimento
2. Alternativa bloco de concreto
3. Alternativa tijolo cerâmico

Para realizar a análise das três alternativas de parede foram analisados os critérios econômico e ambiental critérios acordes com os triple da sustentabilidade, para o critério econômico e social se avaliaram aspectos de custos de insumos e de mão de obra respectivamente, no caso do critério ambiental se avaliaram aspectos de gerações de CO<sub>2</sub> e consumos de energia dos materiais utilizados na construção da parede. Os critérios são representados na figura 1.

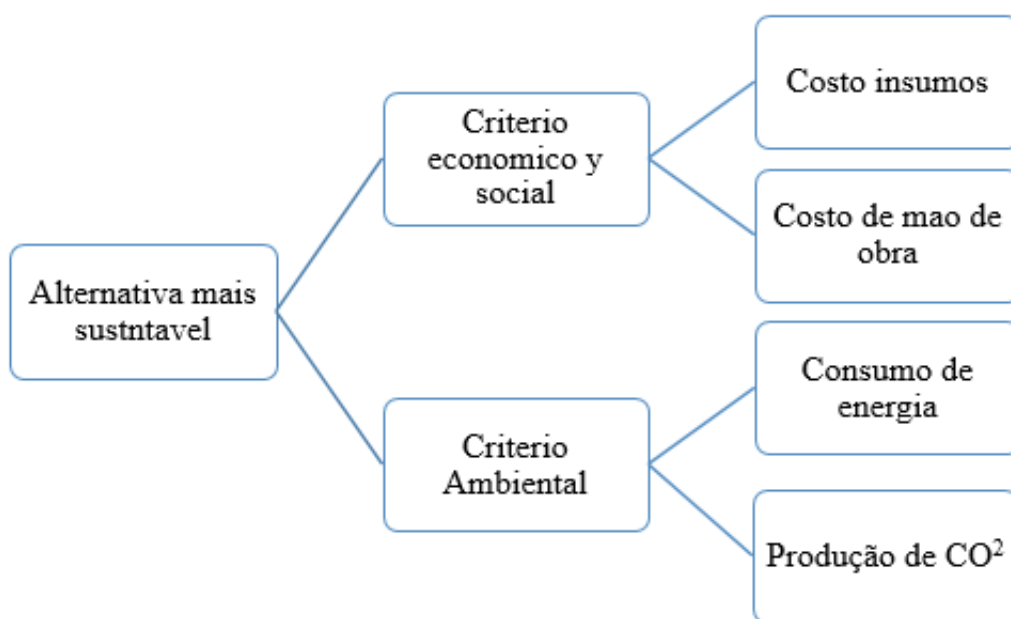


Figura 1 -

Critérios e Aspectos Avaliados

### **Critério Econômico e social**

Para a construção do módulo da parede as três alternativas foram projetadas com a mesma capacidade estrutural (força do vento de 75 kg/m<sup>2</sup>), na figura 2 são ilustradas as diferentes alternativas de paredes avaliadas.

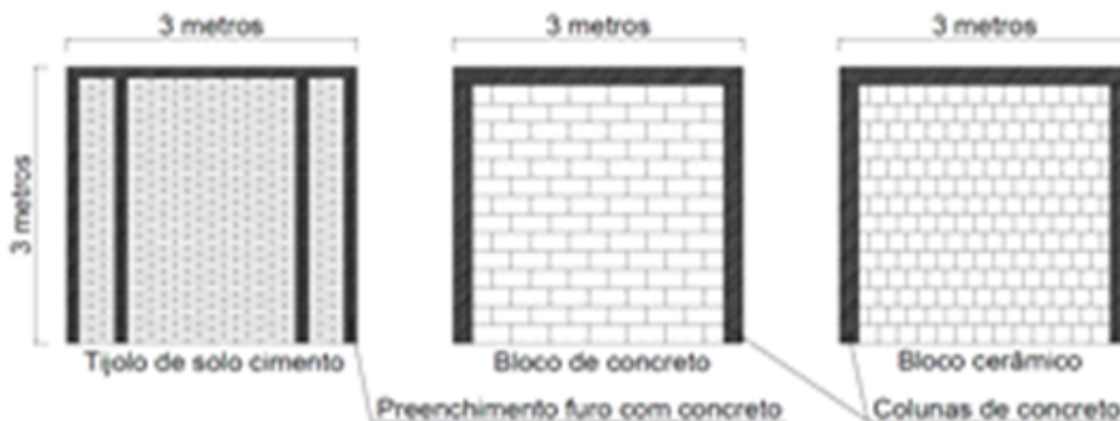


Figura 2 -

### Alternativas Avaliadas

A 1ª alternativa o material utilizado é o tijolo de solo-cimento de dimensões: 25 cm x 12,5 cm x 6,25 cm. Quatro furos do tijolo são preenchidos com graute para realizar a função de coluna.

A 2ª alternativa se usa bloco de concreto de dimensões: 40 cm x 9 cm x 20 cm. As colunas são localizadas nos extremos (dimensões de 20 cm x 10 cm) e posteriormente é realizado um reboco de 1 cm a cada lado da parede.

A 3ª alternativa é idêntica a 2ª com a única diferença do uso do tijolo cerâmico com dimensões: 20 cm x 9 cm x 20 cm.

Na tabela 1. Se resume o resultado da quantificação do custo de mão de obra e materiais utilizados na construção de cada alternativa de parede.

**Tabela 1** - Insumos e mão de obra

Alternativa	Solo-cimento	Bloco concreto	Bloco cerâmico
Nº Blocos	576 un.	112 un.	224 un.
Cimento	27,2 kg	198,8 kg	236,7 kg
Vergalhão	7,2 kg	12,0 kg	12,0 kg
Areia	0,07 m <sup>3</sup>	0,26 m <sup>3</sup>	0,34 m <sup>3</sup>
Brita	0,01 m <sup>3</sup>	0,09 m <sup>3</sup>	0,09 m <sup>3</sup>
Diárias	2,26	1,31	2,04

Com o quantitativo realizado na Tabela 1, se procedeu ao cálculo total dos custos para a construção da parede (CEF, 2015)

**Tabela 2** - Custos total para cada alternativa de parede

Alternativa	Solo-Cimento	Bloco Concreto	Bloco cerâmico
Custo Insumos	181,2	361,8	283,9
Custo mão de obra	173,6	100,3	156,5

## Critério Ambiental

Para avaliação da sustentabilidade os estudos da energia empregada constituem um importante instrumental que permite determinar o consumo de energia durante todo o processo de construção, calculando a energia das equipes e materiais utilizados, segundo Campos (2003) a origem dos materiais ou matérias-primas empregados em uma construção é um dos principais fatores que influenciam seu custo energético.

**Tabela 3** - Cálculo Total de energia e geração de co2 para cada alternativa de parede

Alternativa	Solo-Cimento	Bloco Concreto	Bloco cerâmico
Energia	158 KW h	473 KW h	842 KW h
CO2	85,1 kg	276,5 kg	358,7 kg

## Resultados

Com o total calculado para todos os critério se estabeleci-o uma função de valor que permite transformar o resultado (Q) em um valor adimensional, que permitirá comparar com os outros critérios. Foi definida uma escala de utilidade onde o critério com avaliação mais próximo de 1 será o que apresente melhor desempenho e o critério que obtenha um resultado mais próximo de 0 apresentara o resultado mais desfavorável; para estabelecer o valor adimensional de cada critério se uso a equação 1, As tabelas 4 e 5 mostram os valores adimensionais calculados para cada critério

$$Avaliação\ Critério = 1 + \frac{Q\ min}{Q\ max} - \frac{Q}{Q_{max} - Q_{min}}$$

Equação 1

Onde:

Q: resultado final do critério

Q min: resultado mínimo possível do critério

Q Max: resultado máximo possível do critério

**Tabela 4** - Valor adimensional para critério econômico

Alternativa	Custo mão de obra	Valor adimensional	Custo de insumos	Valor adimensional
Solo-cimento	173,6	0,24	181,2	0,88
Bloco concreto	100,3	0,91	361,8	0,15

Bloco cerâmico	156,5	0,40	283,9	0,46
----------------	-------	------	-------	------

### Critério ambiental

Devido à importância estratégica que o setor da construção civil possui no alcance da sustentabilidade, o estudo do ciclo de vida energético dos materiais se torna essencial, após o protocolo de Quioto, compromissos com caráter mais rígido foram firmados pelos países signatários para a redução dos gases que causam o efeito estufa. Portanto, o conhecimento da quantificação da energia e do CO2 nos materiais da construção civil representa uma informação relevante como parte da análise do impacto ambiental causado pelas edificações. Monich C et.al (2010).

Para o cálculo do consumo energético foi realizada uma estimativa da energia envolvida na construção das estruturas utilizando coeficientes energéticos construídos pelo instituto de tecnologia da construção de Catalunya – ItcC.

**Tabela 5** - Valores adimensionais critério ambiental

Alternativa	Consumo total de Energia kwh	Valor adimensional	Geração CO2 Kg	Valor adimensional
Solo-cimento	158	0,99	85,1	0,97
Bloco concreto	473	0,54	276,5	0,38
Bloco cerâmico	842	0,01	358,7	0,13

### Avaliação final das alternativas

Com o total calculado para cada critério se estabeleci-o uma função de valor que permite transformar o resultado em um valor adimensional, permitindo comparar todos os critérios, a função de valor e defina como um número de 0 a 1 onde o valor 1 representa a valoração máxima para uma alternativa e 0 significa a valoração para mínima. Cada valor tem o mesmo peso de importância (33.3%). Na tabela X se observa os cálculos para todos os critérios avaliados seu respectivo valor adimensional

**Tabela 6** - Avaliação final das alternativas.

Avaliação Critério	Custos mão de obra	Custos insumos
--------------------	--------------------	----------------