

# MÉTODO SMART COMO SOLUÇÃO TECNOLÓGICA PARA IMPLANTAÇÃO DE UMA USINA DE RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL\*

Léo Daiki Shinomiya<sup>1</sup>  
Mischel Carmen Neyra Belderrain<sup>2</sup>  
Amanda Cecília Simões da Silva<sup>3</sup>  
Joner Oliveira Alves<sup>4</sup>  
Jefferson de Oliveira Gomes<sup>5</sup>

## Resumo

A construção civil é uma das maiores atividades para o desenvolvimento econômico e social, e, ao mesmo tempo grande geradora de impactos ao meio ambiente, quer que seja pelo consumo de recursos naturais ou pela geração de resíduos da construção civil (RCC). Este trabalho tem por finalidade definir a melhor localização para a implantação de uma área de transbordo e triagem (ATT) e uma área de reciclagem (AR) utilizando o método SMART (*Simple Multi-Attribute Rating Technique*). O método SMART é uma ferramenta inovadora que apoia o decisor com base em alternativas com multicritérios. Esta técnica possui eficiência na avaliação, possibilidade de participação dos stakeholders/decisores nas fases de desenvolvimento e decisão, proporcionando maior legitimidade do processo e compromisso na implementação dos resultados.

**Palavras-chave:** Impacto Ambiental; Resíduo da construção civil; Localização estratégica; SMART.

## SMART METHOD AS TECHNOLOGICAL SOLUTION TO IMPLEMENT A RECYCLING MILL OF CIVIL CONSTRUCTION WASTES

### Abstract

The building is the biggest activities for social and economic development, and at same time is the greater environment impact generator, either by consuming of natural resource or construction waste (RCC) generator. This work aims to apply the SMART method to define strategically the best location to implement a recycling plant of CW and a transshipment station and sorting centre. This method application assist on choosing alternatives with multicriteria.

**Keywords:** Environmental impact; Construction waste; Strategic location; SMART.

- <sup>1</sup> M.Sc., Mestrando do Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA, São José dos Campos, SP, Brasil.
- <sup>2</sup> Dra., Professora do Departamento de Gestão e Apoio à Decisão, Divisão de Engenharia Mecânica-Aeronáutica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, SP, Brasil.
- <sup>3</sup> Dra., Professora do Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE) do Comando da Aeronáutica, São José dos Campos, SP, Brasil.
- <sup>4</sup> Dr., Diretor do Instituto SENAI de Inovação em Tecnologias Minerais. Federação das Indústrias do Estado do Pará - FIEPA, Belém, PA, Brasil
- <sup>5</sup> Dr., Professor do Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA, São José dos Campos, SP, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

A construção civil é um setor que contribui tanto para o papel econômico quanto para o papel social do País, e, ao mesmo tempo grande geradora de impactos ambientais, quer que seja pelo consumo de recursos naturais, quer que seja pela geração de resíduos resultante da construção. É através deste setor que países se transformam e se renovam.

No processo construtivo, o alto índice de perdas do setor é a principal causa do entulho gerado. A Lei [1] regida pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) descreve as diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos da construção civil. Em todo o mundo, a quantidade de entulho gerado corresponde, em média, a 50% do material desperdiçado. No Brasil produz-se 850.000 t/mês de entulho, no Reino Unido 53.000 t/mês e no Japão 6.000 t/mês. Como pode ser concluído, em alguns países europeus, Japão e nos EUA, o reaproveitamento de entulho já é uma prática fazer a reciclagem do entulho, atestando totalmente a sua viabilidade tanto técnica como econômica. Alguns governos locais dispõem de leis exigindo o uso de materiais reciclados na construção e em serviços públicos.

Atualmente na região do Pará ainda não existe um sistema de tratamento de resíduos sólidos da construção civil (RCC) organizado pelo governo, apenas empresas particulares que não se sabe qual o destino dado ao final do processo. Estes resíduos, na maioria das vezes são depositados em locais irregulares que são captados pela prefeitura ou empresas terceirizadas e são direcionados para terrenos baldios onde são depositados no meio ambiente.

Segundo a Política Estadual de Resíduos Sólidos, todos os geradores, pessoas físicas e jurídicas, são responsáveis pelos seus resíduos, seja na execução de uma pequena reforma residencial ou na construção de um edifício. Dessa maneira, pensou-se em recolher estes resíduos e processá-los em uma usina de processamento e beneficiamento que terá em sua cadeia de processos, equipamentos para transformar a matéria bruta para ser gerado um produto que seja insumo para outras cadeias de produtos de modo agregar valor produto de maneira sustentável pensando em um menor custo e tempo.

No entanto, é necessário concentrar em um local estratégico para a captação desses resíduos sólidos da construção civil em um setor chamado área de transbordo e setor de triagem. Este local receberá e selecionará por tipos de resíduos sólidos e pré-processá-los para posteriormente ser enviado a uma usina de processamento e beneficiamento de resíduos sólidos de construção civil, denominada de área de reciclagem. A ABNT NBR nº 15.112c [2] fixa os requisitos exigíveis para este tipo de projeto, a implantação e a operação da área de transbordo e triagem de resíduos da construção civil e resíduos volumosos. A ABNT NBR nº 15.114a [3] fixa os requisitos para a instalação e operação da área de reciclagem.

Para [4], é possível que essa percepção ainda não esteja clara para muitos, pois ele é um objetivo a ser atingido e não uma direção a ser seguida. Assim sendo, as propostas de produtos que surgirem com esse escopo devem atender a princípios como:

- Basear-se fundamentalmente em recursos renováveis, garantindo ao mesmo tempo sua renovação;
- Aperfeiçoar o emprego dos recursos;
- Não acumular lixo no ecossistema;
- (...) garantir o direito ao gozo do espaço ambiental [4]

O objetivo é encontrar a melhor localização estratégica para a captação e o beneficiamento de resíduos sólidos da construção civil (RCC) composto por uma área de transbordo e triagem (ATT) e uma área de reciclagem (AR) utilizando o Método SMART (*Simple Multi-Attribute Rating Technique*).

O método SMART é utilizado quando o decisor se depara com uma situação que deve ser solucionada entre uma série de alternativas conflitantes e concorrentes. Neste caso duas opções básicas se apresentam: 1) usar a sua intuição gerencial e 2) realizar um processo de modelagem da situação, de maneira a estudar mais profundamente o problema [5]. O método SMART segundo [6], é formado por 3 fases como mostrado na figura 1.

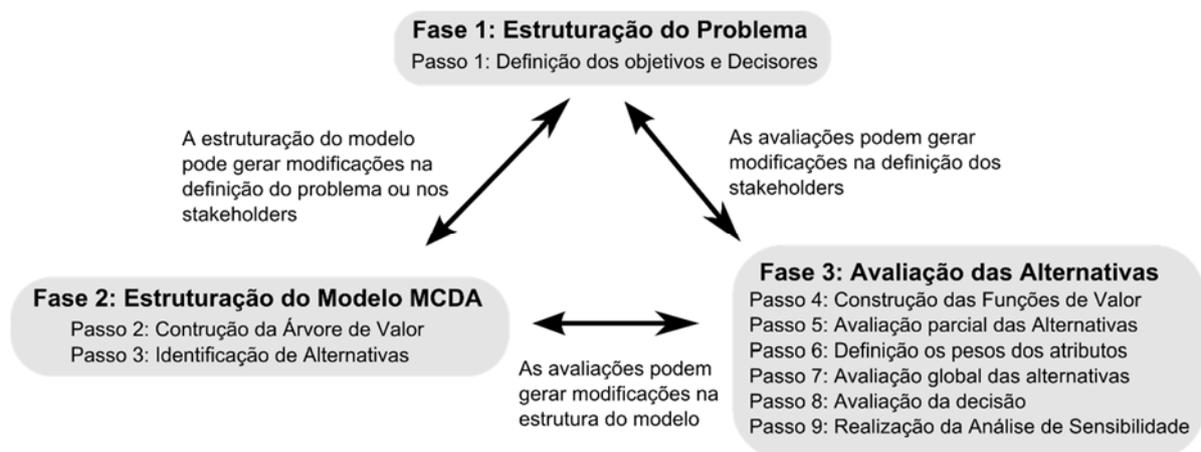


Figura 1: Fases de aplicação do modelo SMART. Adaptado de [6].

Além disso, este método pode auxiliar no processo de solucionar problemas com a participação dos Stakeholders e Decisores no desenvolvimento dando maior legitimidade do processo e compromisso na implementação dos resultados.

Com relação à destinação dos resíduos sólidos da construção civil (RCC), esta é de responsabilidade de seu gerador, incluindo ações voltadas a seu reuso, reciclagem ou destinação responsável [7]. Para o presente trabalho será considerado que a usina buscará os resíduos nas construções, não eximindo a responsabilidade da mesma, e sim incentivando-as a retrabalharem o RCC de maneira mais apropriada e que possa impactar em menos o meio ambiente.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o problema proposto será utilizado as fases descritas na Figura 1 e conforme descritas a seguir.

### 2.1 Passo 1: Definição dos objetivos e decisores

Os principais *Stakeholders* foram identificados como: Donos de construtoras, a sociedade, as empresas de demolição, as empresas para atividade fim. E para o grupo de decisores foram consideradas a SEMMA (Secretaria Municipal de Meio Ambiente), SEMA (Secretaria e Estado de Meio Ambiente), as empresas para atividade fim, os donos das construtoras e especialistas.

Um *brainstorming* foi realizado para identificar as principais ideias dos *Stakeholders* e Decisores para a escolha do melhor local para implantar a Usina.

As ideias principais deste processo foram:

- Minimizar o gasto de insumos;
- Minimizar o impacto ambiental;
- Minimizar área que contenha vegetação e hidrografia;
- Minimizar o custo do terreno;
- Maximizar proximidade das construtoras;
- Maximizar a logística de pessoas e de RCC;

Em seguida buscou-se definir os objetivos meios e os objetivos fins. Para os objetivos fins foram considerados:

- Maximizar a logística;
- Minimizar o impacto ambiental;
- Minimizar o custo;

Para os objetivos meios foram considerados:

- Minimizar o gasto de insumos;
- Maximizar a logística de pessoas e de RCC;
- Maximizar o rendimento dos equipamentos;
- Maximizar proximidade das construtoras;
- Minimizar área que contenha vegetação e hidrografia;
- Minimizar o custo do terreno;
- Minimizar a emissão de CO<sub>2</sub>;

## 2.2 Passo 2: Construção da Árvore de Valor

A estruturação do problema foi iniciada com a realização de um *Brainstorming* com as principais ideias registradas na figura 2.

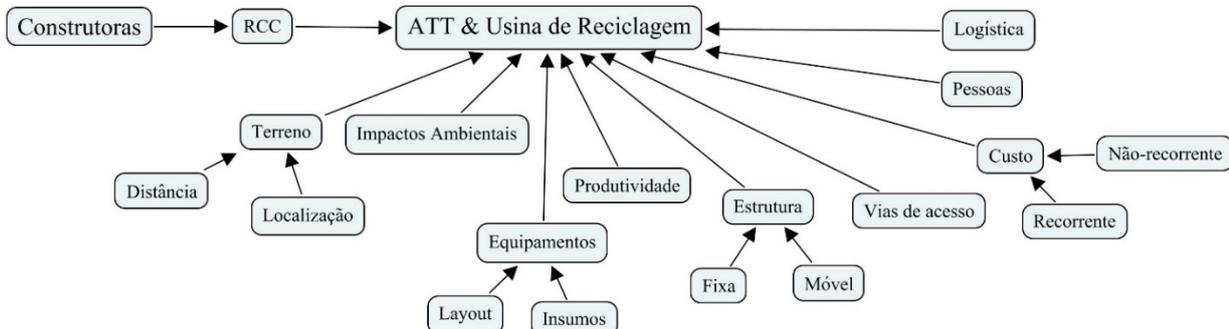


Figura 2: *Brainstorming* dos requisitos de uma ATT e de uma Usina de reciclagem.

Então, buscou-se atributos que pudessem mostrar valores quantitativos e qualitativos sobre a situação local, onde se definiu os critérios e os subcritérios mostrado na figura 3.



Figura 3: Árvore de Valor do modelo.

Neste trabalho os critérios internos da usina como exemplo, o critério produtividade, não foram levados em consideração devido não influenciarem na escolha da melhor localização da usina, em um estudo posterior pretende-se considerar fatores internos que influenciam na saúde dos trabalhadores e da empresa.

### 2.3 Passo 3: Identificação das Alternativas

A ATT e Usina de reciclagem devem atender as grandes construtoras e o empreendimento das mesmas não são permanentes. Existem também obras como reforma e demolição nos centros das cidades, assim como a expansão e construção de novos empreendimentos nas regiões mais afastadas da cidade. Assim sendo, optou-se por definir o local mais apropriado para a implantação da usina, atendendo aos fatores externos. As alternativas definidas foram:

- Próxima ao centro da cidade mais desenvolvida;
- Afastado do centro da cidade e mais próximo a periferia;
- Próximo a uma via de acesso rápido tanto para o principal centro da cidade como para as outras cidades;
- Localização na interseção dos centros urbanos;

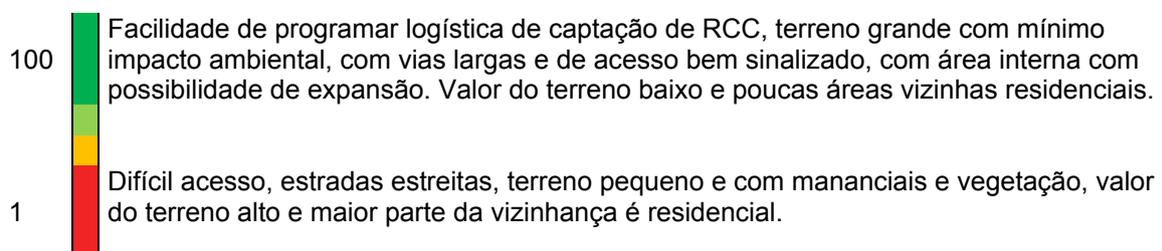
Para cada tipo de alternativa existem critérios e restrições que ponderam o valor para cada localização. As alternativas foram definidas como sendo a determinada localização em cada Bairro da região metropolitana de Belém.

### 2.4 Passo 4: Construção da Função de valor

As funções de valor representam a performance das alternativas com relação a um dado critério ou restrição indicado pelo decisor. Foram consideradas escalas de 1 a 100 onde 1 representa a pior situação e 100 a melhor dentro de cada critério analisado. As escalas para os atributos estão descritas a seguir.

### 2.5 Compra do Terreno

Essa é um critério que sintetiza a necessidade de posicionar a planta de tratamento em uma área estratégica visando uma concentração de RCC com custos minimizado, em função da logística e da quantidade de construções existentes nas redondezas, minimizando investimentos em infraestrutura como a aquisição ou o aluguel de áreas e bem razoável a questão social, como o transporte para os colaboradores da usina e os vizinhos no quesito geração de ruído e poeira.



### 2.6 Transporte Público

Importante considerar a acessibilidade de seus colaboradores, considerando o transporte público para o acesso ao trabalho.

- 100  Linha do transporte público passa em frente a Usina de reciclagem.
- 1  Transporte público passa distante e com grande perigo a segurança.

## 2.7 Distância da Área Urbana

Para tentar solucionar o problema dos RCC, a ATT e a usina devem ficar o mais próximo dos grandes centros, nesses locais ocorrem em grandes quantidades a troca de pavimentos, demolições e a renovação de imóveis. Assim como as construtoras são grandes geradoras de resíduos e nesses locais ocorrem em grandes quantidades o descarte deste tipo de resíduo.

- 100  Facilidade de obtenção de resíduo, desenvolvimento da produção, reposição de peças e capacitação de colaboradores.
- 1  Dificil acesso aos resíduos, as peças de reposição e capacitação

## 2.8 Operação

Custo de operação é uma variável muito significativa no processo de decisão, onde o custo recorrente como a manutenção da usina e dos equipamentos, assim como o custo com insumos e o aluguel varia conforme a localização.

- 100  Facilidade de programar logística de captação de RCC, terreno com mínimo impacto ambiental e menor valor de aluguel, com vias largas e de acesso bem sinalizado, com área interna com possibilidade de expansão e pouca vizinhança residencial.
- 1  Dificil acesso, estradas estreitas, terreno pequeno e com mananciais e vegetação, custo com o aluguel alto e vizinhança residencial.

## 2.9 Emissão de CO<sub>2</sub>

A emissão de CO<sub>2</sub> está sendo analisada de maneira qualitativa onde considera o tempo gasto para a coleta do resíduo, devendo passar mais tempo recolhendo os RCC's ao invés gastar rodando nas vias.

- 100  Logística otimizada, frota de caminhão gastando menos tempo e combustível no transporte do RCC.
- 1  Frota de caminhão sem manutenção, despejo de rejeitos da reciclagem no ambiente, destruição da vegetação e mananciais pela falta de cuidado. Vias estreitas, transito lento, difícil definir uma rota adequada.

### 2.9.1 Vegetação e hidrografia

Essa variável é substancialmente significativa, pois para a implementação, considerando que as soluções passam por escolhas de tecnologia, é necessário a preparação de editais, a obtenção de licenças, o desenvolvimento de um projeto detalhado, a obtenção ou designação de áreas e acompanhamento de obras. Em todas essas etapas há a fiscalização de órgãos ambientais, Tribunal de Contas, população, etc. A preparação de um bom projeto de tratamento de resíduos sólidos é um investimento cujos resultados não são imediatos, e sempre buscando estar longe de mananciais aquíferos e vegetação densa.

Quanto mais bem elaborada for essa visão sistêmica, mais transparente em frente aos agentes de fiscalização e maior poderá ser o marketing da unidade de tratamento.

- 100  Vegetação suprimida e área licenciada e terraplanada, longe de rios e com ausência de espécies raras.
- 1  Área próximas de Rios, Vegetação nativa e com espécies raras.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Passo 5. Avaliação Parcial das Alternativas

Para construção dos valores para as alternativas foram estimados através da média dos valores de venda e do tamanho em “m<sup>2</sup>” dos imóveis em cada bairro, conforme mostrado na tabela 1.

**Tabela 1.** Localização e suas respectivas áreas com valor do aluguel e de compra.

Bairro	Localização	Área (m <sup>2</sup> )	Aluguel (R\$/m <sup>2</sup> )	Compra (R\$/m <sup>2</sup> x 10 <sup>3</sup> )
Jurunas	A	13200	12,69	1,89
Umarizal	B	10416	18,97	6,00
Curió-Utinga	C	15846	16,19	0,75
São Brás	D	16000	20,74	1,00
Souza	E	21600	15,02	2,90
Ananindeua	F	10000	10,46	0,80

Para a apresentação dos valores resultantes a tabela 1 mostra os valores para as alternativas, onde serão trabalhadas à luz dos critérios.

#### 3.2 Passo 6. Definição dos Pesos dos Atributos

Para isso, é preciso normalizar os pesos para serem trabalhados no próximo passo, conforme as notas dadas pelo decisor. Se buscou calcular os pesos de maneira a representar as informações que o decisor achou mais relevante, estes valores são mostrados na tabela 2.

**Tabela 2.** Atribuição de valores e o peso para cada atributo.

	Compra do Terreno	Vegetação e Hidrografia	Operação	Distância da área urbana	Emissão de CO <sub>2</sub>	Transporte Público	
<b>Peso Original</b>	100	82	64	46	28	10	<b>330</b>
<b>Peso</b>	25	22	20	15	10	8	<b>100</b>

Os atributos foram quantificados segundo critérios do decisor e transformados em uma escala de 1 a 100.

#### 3.3 Passo 7. Avaliação Global das Alternativas

Para a avaliação global das alternativas tem-se  $V(a)$  o valor associado à alternativa  $a$ ,  $vi(a)$  a pontuação da alternativa  $a$  no  $i$ -ésimo critério e  $w_i$  o peso atribuído a este mostrado na equação:

$$V(a) = \sum_{i=1}^m w_i v_i(a) \quad (1)$$

Através dos valores atribuídos para cada alternativa como mostrado na tabela 3 entre os pesos gerados e os valores das notas da tabela 2, gerou valores que caracterizam o ranking de cada alternativa, mostrada na tabela 4.

Tabela 3. Atribuição de valores e o peso para cada atributo.

	Peso	A	B	C	D	E	F
Compra do Terreno	25	70	40	80	80	50	90
Vegetação e Hidrografia	22	50	80	70	90	60	90
Operação	20	90	80	90	90	80	90
Distância da área urbana	15	100	90	80	100	80	70
Emissão de CO <sub>2</sub>	10	50	60	60	80	60	50
Transporte Público	8	80	80	60	100	80	100
		<b>7290</b>	<b>6950</b>	<b>7620</b>	<b>8880</b>	<b>6610</b>	<b>8380</b>

A localização mais apropriada para a implantação da ATT e Usina de Reciclagem foi a localização **D** (São Brás) seguida da **F** (Ananindeua), como mostrado na tabela 4.

Tabela 4. Localização mais apropriada para a implantação da ATT e Usina de Reciclagem.

<b>D</b>	<b>F</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>E</b>
8880	8380	7620	7290	6950	6610

Pela pontuação global, o bairro da **São Brás** foi a alternativa que melhor atende aos critérios do decisor.

### 3.4 Passo 8. Avaliação da Decisão

Contudo, é preciso analisar se este resultado é de fato válido. Para tanto, construiu-se a figura 4 de Viabilidade versus Custo, os quais são levados como valores o peso da compra do terreno e de operação que são dois ramos da árvore de valor. Para o atributo Compra do Terreno foi considerado a compra ou o aluguel do terreno.

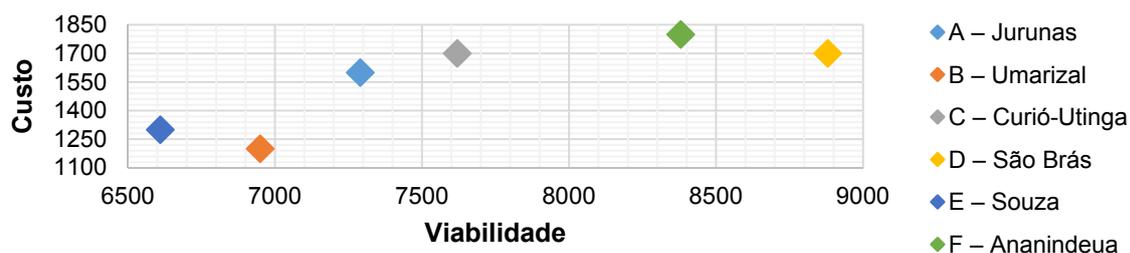


Figura 4: Viabilidade x custo para as alternativas.

Na figura 4 é possível identificar que a alternativa mais viável não possui o custo mais elevado, a segunda alternativa do ranking foi a localização "F", também não está entre a mais onerosa de todas as alternativas, pois neste gráfico a pontuação mais alta do custo representa que ele possui um custo menor, ou seja, as alternativas "D" e "F" são as mais viáveis dentre as alternativas. O tamanho do terreno pesou na contabilização dos custos como o aluguel ou a aquisição, também pode-se afirmar que o tamanho da área disponível é importante para uma futura expansão da usina. Outra avaliação realizada foi do critério viabilidade versus transporte público como mostrado na figura 5.

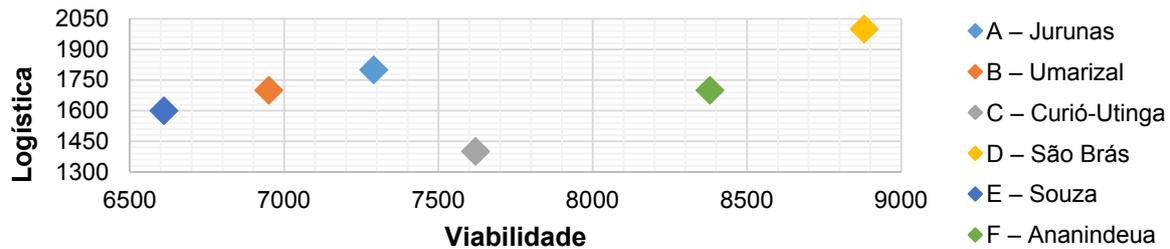


Figura 5: Viabilidade x Logística para as alternativas.

Também neste quesito, a opção “D” mostrou-se a mais viável, mostrando o melhor desempenho para o critério, onde há boa possibilidade de criar estratégias de rotas para buscar o RCC e de transporte dos colaboradores até a unidade.

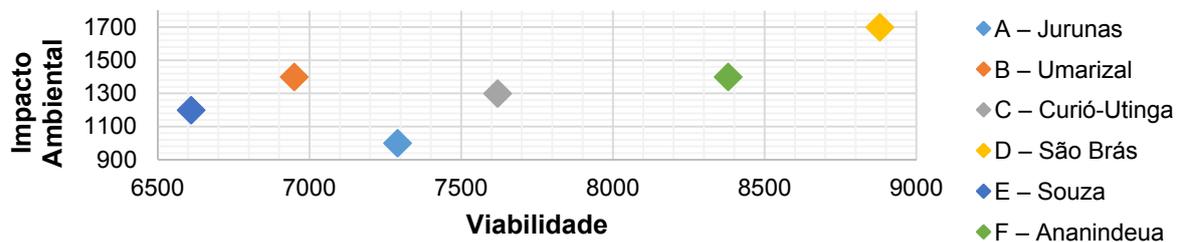


Figura 6: Viabilidade x Impacto Ambiental para as alternativas.

Na figura 6 a melhor opção ficou com a alternativa “D”, pois seria um local com a vegetação suprimida e longe de rios, além de possuir a sua localização com boa acessibilidade.

### 3.5 Passo 9: Realização da Análise de Sensibilidade

Devido à diferença entre os pesos para os dados a viabilidade e custo, viabilidade e transporte público e viabilidade e impacto ambientais, realizou-se a análise de sensibilidade para verificar como a pontuação global das alternativas se comporta com a alteração destes valores.

Variando os pesos das alternativas para os critérios que representam o custo, obteve-se uma pontuação global como mostrado na figura 7, percebe-se que através do gráfico, a alternativa D (São Brás) ainda é a mais viável, em seguida, segue a opção F (Ananindeua).

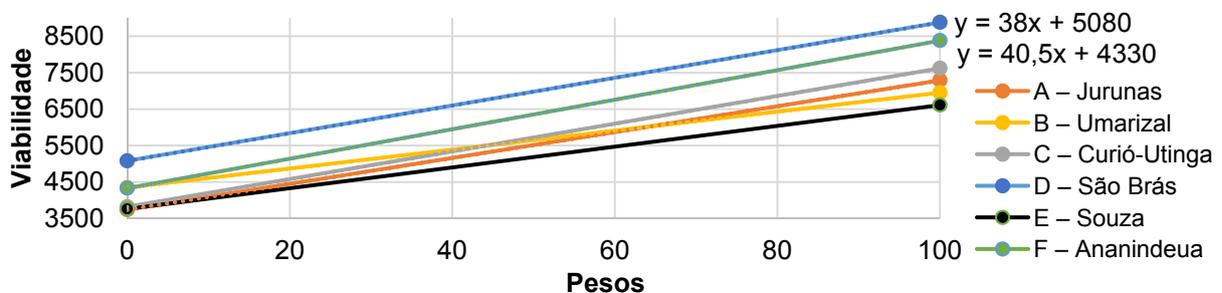
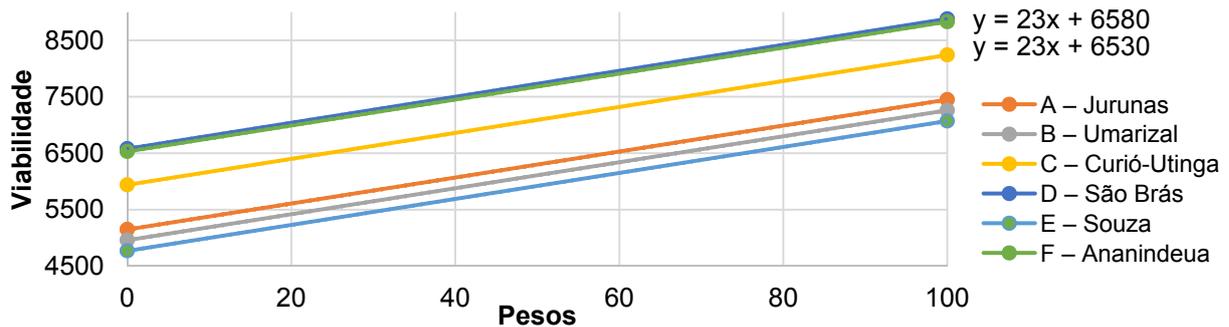


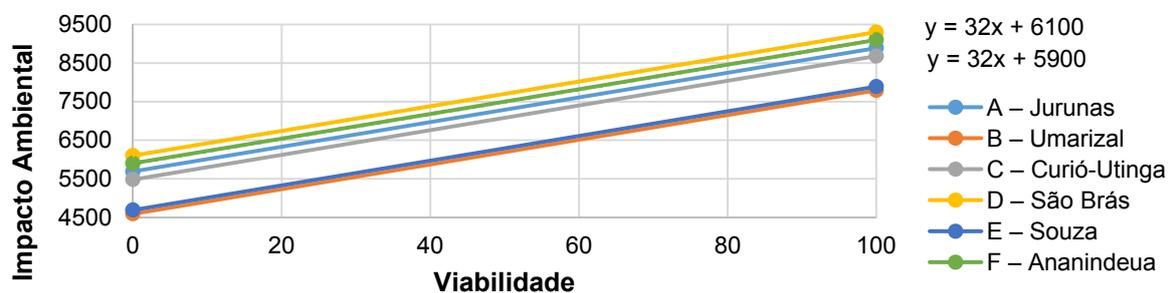
Figura 7: Análise de sensibilidade para o custo dentre as alternativas.

Para a análise de sensibilidade da logística, é mostrada na figura 8.



**Figura 8:** Análise de sensibilidade do transporte público dentre as alternativas.

Na figura 9 mostra que para os pesos diferentes entre zero e 100, **D (São Brás)** foi ainda a melhor pontuada.



**Figura 9:** Análise de sensibilidade para o impacto ambiental dentre as alternativas.

Para o critério impacto ambiental foi realizado a análise de sensibilidade mostrado no gráfico 6 onde demonstra que a alternativa **D (São Brás)**, é a melhor pontuada mesmo com o peso igual a zero, em seguida a alternativa **F (Ananindeua)**.

## 4 CONCLUSÃO

A alternativa selecionada foi o *Bairro de São Brás*. O que diferenciou das outras alternativas, é que ganha nos critérios de maior peso, o terreno que será ocupado atingirá o mínimo de área com vegetação e manancial, além de possibilitar a chegada dos colaboradores através do transporte público e facilitar a logística dos resíduos.

Uma análise mais detalhada pode também ser considerada para futuros estudos, considerando separadamente cenários que abordam a responsabilidade sobre a coleta do RCC pelo construtor, a responsabilidade sobre a coleta de RCC transferida do construtor para a usina, um possível convênio entre o estado/municípios/construtoras, bem como uma validação das rotas dos veículos perante o gasto quantitativo de emissões de CO<sub>2</sub>.

## REFERÊNCIAS

- 1 Lei nº 5.887/1995, Política Estadual de Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº307/2002, Diretrizes Critérios e Procedimentos para Gestão de Resíduos da Construção Civil.

- 2 \_\_\_\_\_. NBR nº 15.112c: Resíduos da construção civil e resíduos volumosos – Áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004, 7 p.
- 3 \_\_\_\_\_. NBR nº 15.114a: Resíduos sólidos da construção civil - Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004, 7 p.
- 4 Manzini, E.; Vezzoli, C. O desenvolvimento de produtos sustentáveis. Vol. I. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo – EDUSP, 2008, 366 p.
- 5 Lachtermacher, G. Pesquisa operacional na tomada de decisões: Para cursos de Administração, Economia e Ciências Contábeis. 2. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2004
- 6 Franco, L. A. E Montibeller, G. Facilitated modelling in operational research European Journal of Operational Research, 205 (3). 489-500. ISSN 0377-2217. 2010
- 7 Brasil. Lei Nº 12.305, DE 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 03 ago. 2010. Seção 1, 3 p.