

ÁREA TEMÁTICA: Reciclagem

LOCALIZAÇÃO ÓTIMA DE PLANTA INDUSTRIAL COM DOSAGEM DEFINIDA DE VIDRO DESCARTADO

Sylvio Roberto Pereira Barbosa (barbosa.sylvio@gmail.com)

Universidade Federal da Bahia - UFBA

RESUMO

Redução da emissão de gases e aumento da vida útil dos aterros sanitários são apenas dois dos diversos benefícios que a reciclagem do vidro proporciona. Mas, apesar desses e tantos outros benefícios serem amplamente reconhecidos pela população como um todo, o brasileiro, de uma forma geral, ainda tem dificuldade de enxergar a reciclagem como uma atividade com potencial de lucratividade. Evidentemente, para se obter lucro nessa atividade econômica, é preciso planejamento, inclusive da localização mais apropriada para se instalar a planta industrial. Nesse contexto, o presente artigo visa determinar a localização ótima de plantas industriais que utilizem vidro reciclado como matéria-prima e, para essa finalidade, aplica-se um modelo de otimização via função objetivo para um estudo de caso em Brasília/DF e Entorno. A partir da resolução do problema de otimização, determina-se a localização que acarreta o menor custo por tonelada de matéria-prima dentre as cinco localizações propostas.

Palavras-chave: Reciclagem de vidro; Otimização; Estudo de caso.

OPTIMAL LOCATION OF INDUSTRIAL PLANT WITH DEFINED DOSAGE OF DISPOSED GLASS

ABSTRACT

Reducing gas emissions and increasing the useful life of landfills are just two of the many benefits that glass recycling provides. But, despite these and many other benefits being widely recognized by the population as a whole, Brazilians, in general, still have difficulty seeing recycling as an activity with potential for profitability. Obviously, to make a profit in this economic activity, planning is necessary, including the most appropriate location to install the industrial plant. In this context, this paper aims to determine the optimal location of industrial plants that use recycled glass as a raw material and, for that purpose, an optimization model is applied via the objective function for a case study in Brasília/DF and its surroundings. Based on the resolution of the optimization problem, the location that causes the lowest cost per ton of raw material is determined among the five proposed locations.

Keywords: Glass recycling; Optimization; Case study.

1. INTRODUÇÃO

A coleta seletiva de resíduos sólidos representa um avanço na gestão ambiental urbana. No entanto, um item importante praticamente não tem sido incluído nesta modalidade de coleta na maioria das cidades brasileiras. Trata-se das embalagens descartadas de vidro (garrafas, frascos e potes). Os impactos desta situação são bem conhecidos, mas é útil relembrar os mais importantes. O desperdício que representa o descarte de resíduo totalmente reciclável por infinitos ciclos é o efeito mais óbvio. Em decorrência, torna-se necessária a lavra de minerais para repor os resíduos de vidro que não retornem ao ciclo produtivo. Isso significa consumo de recursos naturais. Outro impacto relevante da baixa utilização de resíduos de vidros é o maior consumo energético necessário para a fusão de matérias-primas extraídas da natureza. Acompanha e amplia este impacto a geração de gases poluentes pela queima de mais combustível.

A não inclusão dos resíduos de vidro na coleta seletiva aumenta os riscos de cortes e ferimentos nos garis quando da coleta de lixo comum. Também há um desgaste nos componentes dos caminhões de coleta, quando da operação de prensagem. Embora não tenha a mesma importância relativa que outros resíduos, as embalagens de vidro descartadas contribuem para a redução da vida útil dos aterros sanitários, o que exige o comprometimento de novas áreas urbanas em menor prazo.

A par destes impactos negativos, existe a questão da desvalorização do resíduo das embalagens de vidro. Como se verá mais adiante, resíduos de embalagens PET valem 68 vezes mais, e as de alumínio 164 vezes, considerando somente o peso. Esta evidente subutilização dos resíduos de embalagens de vidro se dá, em parte, pelas limitações dos mercados regionais para os produtos derivados da reciclagem de vidro. Em decorrência e eventualmente, uma pequena parte é coletada, selecionada e vendida para mercados distantes visando a industrialização em plantas de grande escala, como as de vidros planos. A maior parte, ou a totalidade é descartada em aterros sanitários e lixões, juntamente com material orgânico.

Na cidade em estudo, Brasília – DF, pouco mais de 6% do vidro gerado é recuperado. O restante vai para o aterro sanitário. Este índice foi ainda pior há poucos anos atrás, chegando a ser nulo (PORTUGAL, 2019). Este fato se repete em muitas cidades brasileiras, o que reduz a vida útil dos aterros e lixões e aumenta os riscos de cortes e ferimentos nos garis quando da coleta de lixo comum. Vários benefícios para as comunidades locais são proporcionados por uma eventual triagem em larga escala das embalagens de vidro na coleta seletiva de lixo, onde existam. Citam-se além dos já referidos aumento da vida útil dos aterros e redução dos acidentes de trabalho, a geração de valor agregado na economia local (mais empregos formais nas indústrias novas e nas unidades separadoras de lixo reciclável, lucro, impostos) e renda adicional aos catadores informais. A ABIVIDRO estima, para o país como um todo, R\$ 8 bilhões desperdiçados por ano. Atualmente, o faturamento da reciclagem de vidro soma R\$ 12 bilhões (ABIVIDRO, 2020).

No âmbito deste trabalho, propõe-se otimizar a localização para plantas industriais com uso de dosagem definida de vidro reciclado. Com a sistematização de informações, hoje dispersas, será possível investigar oportunidades de mercado para produtos que se tornem competitivos a partir da redução de custos obtida pela otimização de localização, no cenário atual. Assim, busca-se a viabilização de produção local por maior competitividade, frente à produção externa à região. É sabido que produtos de alto valor agregado suportam custos de frete de longa distância. Porém, a competitividade de produtos de baixo valor diminui com o custo de transporte a longa distância. Esta é a razão básica para se propor aqui a ênfase na produção local de um produto de valor unitário relativamente baixo frente a outras possibilidades técnicas (lã de vidro versus vidros planos, embalagens e fibra de vidro). Pela mesma razão, busca-se uma solução para a dificuldade de comercializar um resíduo de baixo valor para uso a longa distância. No estudo de caso aqui apresentado (cidade de Brasília/DF), e segundo o último relatório disponível do Serviço de Limpeza Urbana (SLU), o preço médio de setembro foi de R\$0,02/kg para o vidro, frente a R\$0,27 para o papelão, R\$0,41 papelão pardo, R\$1,36 PET, R\$3,28 latinha de alumínio (BRASIL, 2019).

A produção local, no entanto, não pode ter custos elevados de modo a anular as vantagens dos menores custos de transportes. Daí a importância da localização otimizada que reduz sensivelmente os custos de operação. Vários elementos relevantes do mercado regional devem ser levados em conta nestes estudos, como a disponibilidade e custos de combustíveis, a delimitação de áreas industriais e legislação de uso do solo, a existência de indústrias recicladoras de resíduos sólidos e centrais de triagem de coleta seletiva. Estudos de viabilidade de plantas industriais com este perfil não chegam a ser realizados pela precariedade e dispersão de informações. Um estudo específico de opções locais pode provocar um interesse em investigar o mercado local e assim dar início a um estudo completo, numa sequência convencional.

2. OBJETIVO

Validar um método de investigação preliminar de viabilidade econômica, por meio de um estudo de caso sobre a obtenção de localizações otimizadas de planta industrial que utilize vidro descartado.

3. METODOLOGIA

É usual nas análises de viabilidade de indústrias novas que o estudo de mercado preceda e condicione os estudos de tamanho ou escala, alternativas tecnológicas, localização, custos de investimento e operação, receitas e, finalmente, os riscos perante diversos cenários e os cálculos econômico-financeiros como taxa interna de retorno, valor presente líquido etc. Tudo concebido de forma tal que seja possível comparar, nas mesmas bases, o empreendimento com outras alternativas de investimento.

Dado que as atividades ligadas ao aproveitamento do descarte de embalagens de vidro, afora as grandes indústrias, são ainda incipientes, pouco profissionalizadas e valorizadas, as informações sobre o mercado são escassas. Propõe-se então uma inversão na sequência das análises, abordando a atratividade do negócio de uma outra forma. O que se segue é uma aplicação de modelo convencional de localização a uma cidade com coleta seletiva de lixo, visando a otimização de custos na reciclagem de vidro.

Ressalta-se que é uma particularidade da fusão de vidro a necessidade de elevadas temperaturas na fusão, reduzindo a quantidade de áreas viáveis à implantação de plantas industriais. Assim, dentre as opções teóricas para localização (voltada para matéria-prima, mão de obra ou mercado), optou-se pela localização voltada para a matéria-prima, pela sua disponibilidade elevada, preços reduzidos e impactos ambientais positivos quando se utiliza resíduos recicláveis. No entanto, foram consideradas também opções de localização junto a grandes consumidores.

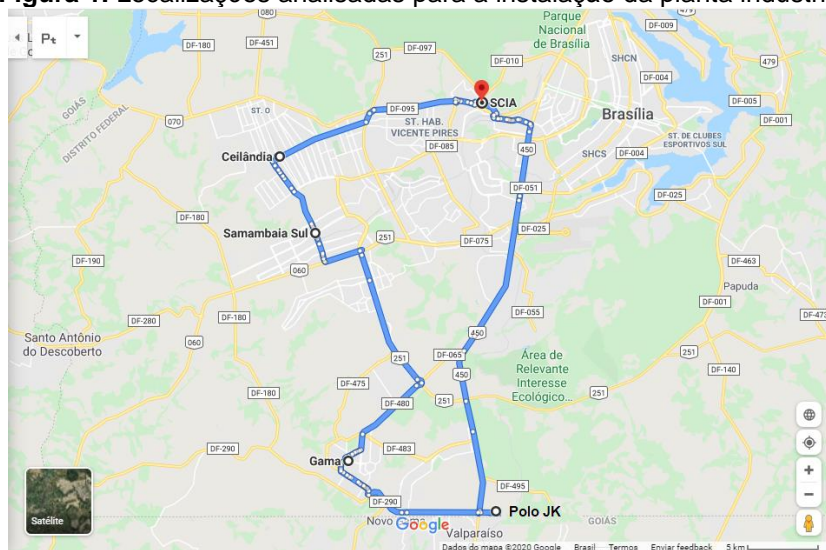
A metodologia específica adotada para definir a localização ótima de uma planta industrial é a Pesquisa Operacional, que visará a minimização de uma função objetivo construída a partir dos custos de aquisição e transporte das matérias-primas mais importantes.

A cidade escolhida para o presente estudo de caso é Brasília-DF, pela menor dificuldade de obtenção de dados, sendo o local de residência do autor, e pelo grande volume de resíduos gerados. É verdade que Brasília, pelo seu plano urbanístico muito restritivo, poderia ser considerada um case inadequado. No entanto, é bom lembrar que as cidades de porte médio e as de maior porte são obrigadas a estabelecer em lei específica um Plano de Uso e Ocupação do Solo, o que generaliza as restrições à localização de indústrias.

No estudo de caso, restrito à área do Distrito Federal e Entorno, foram selecionadas cinco localizações viáveis em termos de utilização industrial. As distâncias entre as localizações analisadas e os fornecedores das duas matérias-primas foram obtidas utilizando a ferramenta Google Maps disponível via internet. A Figura 1 exibe as cinco localizações consideradas na análise para instalação da planta industrial. O frete rodoviário foi obtido no site da Empresa de Planejamento e Logística (EPL), vinculada ao Ministério da Infraestrutura.

A proporção ou dosagem do vidro na mistura a ser fundida foi sugerida pela ABIVIDRO, após consulta. Adotou-se então 70% de vidro na dosagem devido às sabidas vantagens desse nível em termos energéticos e de emissão de CO₂, além da redução do consumo de areia, e também por ser uma dosagem usual, segundo informações levantadas junto à ABIVIDRO.

Figura 1. Localizações analisadas para a instalação da planta industrial



Por fim, os preços do vidro foram obtidos de três fornecedores, sendo um ligado a grandes geradores e duas cooperativas de destaque na triagem de vidro. Os preços de areia são de dois depósitos, um de grande porte e outro médio e também de duas minas da região do Entorno.

3.1 A Função Objetivo

A função objetivo apresentada em (1) descreve o problema de minimizar custos com aquisição de matérias-primas através da localização ótima de uma planta industrial,

$$\text{Min CMP} = 0,7 (PVi + 0,38 * Dij) + 0,3 (PAk + 0,38 * Dkj), \quad (1)$$

sendo CMP o Custo Unitário de Aquisição de Matérias-Primas, em R\$/t.

Os subíndices i , j e k correspondem, respectivamente, ao local do fornecedor de vidro (origem), local da planta industrial (destino) e local do depósito ou mina de areia (origem). Os locais escolhidos constam na Tabela 1.

Tabela 1. Correspondência entre os subíndices e os locais a que se referem

Subíndice	Valor	Local
i	1	SRTC
	2	SAAN
	3	L4
j	1	SCIA
	2	Gama
	3	Polo JK
	4	Samambaia
	5	Ceilândia
k	1	SIA
	2	EPNB
	3	Sto. Antônio Descoberto
	4	Abadiânia

Além disso, a variável PVi indica o preço em R\$ do vidro no local i , por tonelada, a variável Dij corresponde à distância entre os locais i e j , a variável PAk indica o preço em R\$ da areia no local k , por tonelada e, finalmente, a variável Dkj corresponde à distância entre os locais k e j .

Com relação aos pesos adotados para a função objetivo, adotou-se 0,7 como proporção do vidro adotada no lote, 0,3 como proporção de areia adotada no lote e 0,38 para o valor em R\$ do frete por tonelada/km.

As Tabelas 2, 3, 4 e 5, a seguir, apresentam os dados considerados na otimização.

Tabela 2. Distâncias entre fornecedores de vidro i e as plantas industriais j , em km

	$j = 1$	$j = 2$	$j = 3$	$j = 4$	$j = 5$
$i = 1$	4	33	35	23	19
$i = 2$	8	33	34	26	26
$i = 3$	13	25	27	20	25

Tabela 3. Distâncias entre fornecedores de areia k e as plantas industriais j , em km

	$j = 1$	$j = 2$	$j = 3$	$j = 4$	$j = 5$
$k = 1$	3	28	30	21	21
$k = 2$	15	24	27	9	17
$k = 3$	72	65	72	47	53
$k = 4$	128	112	120	112	117

Tabela 4. Preço de aquisição de vidro segundo fornecedores (em R\$/t)

	PVi
$i = 1$	150,00
$i = 2$	30,00
$i = 3$	30,00

Tabela 5. Preço de aquisição de areia segundo fornecedores (em R\$/t)

	PAk
$k = 1$	80,00
$k = 2$	55,50
$k = 3$	25,00
$k = 4$	25,00

É importante frisar que as diferenças significativas observadas nos preços aplicados pelos fornecedores de vidro (Tabela 4) se devem à diferença de qualidade do material, uma vez que o ofertado pelo fornecedor $i = 1$ trata-se de vidro lavado e triturado, enquanto os demais fornecedores $i = 2$ e $i = 3$ oferecem o material apenas quebrado.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Antes de apresentar o resultado da otimização, para fins de conhecimento e contextualização, resgatam-se aqui as estimativas do SLU que indicam a geração de 1.800 toneladas/mês (isto é, uma média de 60 toneladas/dia) de resíduos de vidro dos quais 6,4% foram recuperados em 2018. Os 93,6% restantes foram para o aterro sanitário situado na Região Administrativa de Samambaia. Isto indica o potencial expressivo de oferta de matéria-prima reciclável. Vale destacar que, do total recuperado, 94% foram triados por 17 cooperativas e associações de catadores e 6% por organização de grandes geradores.

Os resultados da otimização desenvolvida nesse estudo de caso são apresentados na Tabela 6 e estão dispostos segundo a ordem de classificação de melhor local para instalação da planta industrial, ou seja, da localização que acarreta o menor custo por tonelada de matéria-prima para a que acarreta o maior custo.

Tabela 6. Resultado da otimização para a localização da planta industrial

Classificação	Localização <i>j</i>	Custo <i>p</i> / tonelada	Origem <i>i</i>	Origem <i>k</i>
1º	SCIA	R\$38,84	SAAN	Sto. Antônio Descoberto
2º	Samambaia	R\$39,18	L4	Sto. Antônio Descoberto
3º	Ceilândia	R\$41,19	L4	Sto. Antônio Descoberto
4º	Gama	R\$42,56	L4	Sto. Antônio Descoberto
5º	Polo JK	R\$43,89	L4	Sto. Antônio Descoberto

A localização ótima é no SCIA - Setor Complementar de Indústria e Abastecimento - onde se pode obter um custo de R\$38,84 por tonelada de matéria-prima, incluindo o frete. A segunda localização ótima (*second best*) é em Samambaia com um custo de R\$39,18 por tonelada, ou seja, apenas 0,9% mais alto que o custo obtido na primeira. As três outras localizações apresentam diferenças significativas de 6,0% (Ceilândia), 9,5% (Gama) e 13% (Polo JK), indicando um descarte de alternativas.

A pequena diferença entre a primeira e a segunda opção de localização indica a importância de uma análise qualitativa nesse caso, ou seja, a determinação do local para a instalação da planta industrial deverá levar em conta também uma avaliação da infraestrutura local, da segurança pública, da facilidade de acesso para clientes, dentre outros fatores.

5. CONCLUSÃO

O modelo de análise mostra-se sensível às distâncias entre fornecedores e a fábrica, devido ao baixo valor das matérias-primas. Por isso mesmo, torna-se essencial numa decisão locacional. O instrumento mostrou-se factível de uso por investidores, os quais são o público-alvo deste trabalho. Dado o objetivo de validar um método de investigação preliminar de viabilidade econômica, conclui-se que modelo é potencialmente viável e útil para tomadas de decisão pelos possíveis investidores.

1. REFERÊNCIAS

ABIVIDRO. **Benefícios da Reciclagem do Vidro**. São Paulo, 2020. Disponível em: <https://abividro.org.br/sustentabilidade/beneficios-da-reciclagem-do-vidro/>. Acesso em: 28 mar. 2020.

BRASIL. Governo do Distrito Federal. **Relatório Janeiro a Setembro de 2019** [online]. Brasília: Secretaria de Obras, 2019. Disponível em <http://www.slu.df.gov.br/wp-content/uploads/2020/01/RELATORIO-JANEIRO-A-SETEMBRO-2019.pdf>. Acesso em 28 mar. 2020.

MAFRA, Nícia. **O Acordo Setorial de Embalagens em Geral, a Logística Reversa e a Responsabilidade Compartilhada em uma Análise Crítica**. Anais do 10º Fórum Internacional e Resíduos Sólidos, João Pessoa/PB, jun. 2019.

PORTUGAL, Andrea. **O Impacto das Políticas Públicas do Distrito Federal no Retorno do Vidro ao Ciclo Produtivo**. Anais do 49º Congresso Nacional de Saneamento da Assemar, Cuiabá/MT, mai. 2019.