CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES
ENGENHARIA DE TRANSPORTES

CAIO VITOR MALACCO DE LIMA

OTIMIZANDO A LOCALIZAÇÃO DE CENTROS DE DISTRIBUIÇÃO DE REFRATÁRIOS: UMA APLICAÇÃO PARA O MERCADO DE CIMENTO DA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL.

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

BELO HORIZONTE
2022

CAIO VITOR MALACCO DE LIMA

OTIMIZANDO A LOCALIZAÇÃO DE CENTROS DE DISTRIBUIÇÃO DE REFRATÁRIOS: UMA APLICAÇÃO PARA O MERCADO DE CIMENTO DA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL.

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II, do curso de Graduação em Engenharia de Transportes do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel.

Orientadora: Profª.: Me. Tainá Pôssas Abreu

BELO HORIZONTE

2022

FOLHA DE APROVAÇÃO

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES - NS

RELATÓRIO Nº 47/2022 - DET (11.55.11)

Nº do Protocolo: 23062.035677/2022-53

Belo Horizonte-MG, 18 de julho de 2022.

ANEXO V – FOLHA DE NOTAS

OTIMIZANDO A LOCALIZAÇÃO DE CENTROS DE DISTRIBUIÇÃO DE REFRATÁRIOS: UMA APLICAÇÃO PARA O MERCADO DE CIMENTO DA REGIÃO NORDESTE.

CAIO VITOR MALACCO DE LIMA

Trabalho de conclusão de curso submetido à Comissão Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Graduação em Engenharia de Transportes, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Transportes.

(x) Aprovado em 14/07/2022

Aprovado com modificações sugeridas pela banca em

*Aprovado com ressalvas em

Reprovado.

_____ NOTA:__97___

ORIENTADOR

Prof. Me. Tainá Pôssas Abreu

_____ NOTA:__97___

BANCA

Prof. Me. Murilo Castanho dos Santos

_____ NOTA:__97___

BANCA

Profª. Drª. Vera de Sales Martins

NOTA FINAL: __97___

* Caso o(a) candidato(a) seja aprovado com ressalvas, favor relatar as modificações necessárias e indicar um membro responsável pela verificação das correções.

(Assinado digitalmente em 18/07/2022 14:07)
VERA DE SALES MARTINS
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DCSA (11.56.04)
Matrícula: 2147521

(Assinado digitalmente em 18/07/2022 13:17)
MURILO CASTANHO DOS SANTOS
PROF ENS BAS TEC TECNOLOGICO-SUBSTITUTO
DET (11.55.11)
Matrícula: 3233895

(Assinado digitalmente em 18/07/2022 13:06)
TAINA POSSAS ABREU
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DET (11.55.11)
Matrícula: 3996313

Para verificar a autenticidade deste documento entre em https://sig.cefetmg.br/public/documentos/index.jsp informando seu número: **47**, ano: **2022**, tipo: **RELATÓRIO**, data de emissão: **18/07/2022** e o código de verificação: **7047cf2980**

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por sempre direcionar minha vida e por me dar sabedoria para concluir essa importante etapa da minha trajetória.

Agradeço a minha mãe, Vera, que sempre me apoiou e que através de seu exemplo, me inspira diariamente a ser uma pessoa e um profissional melhor a cada dia.

Agradeço as empresas que trabalhei como estagiário, que desempenharam papel fundamental no meu processo de aprendizado ao longo da minha trajetória acadêmica.

Aos colegas e amigos do CEFET, agradeço por compartilhar a caminhada durante os últimos anos.

Agradeço ao CEFET-MG, pelo ensino de alta qualidade assim como todos os funcionários e professores que se dedicam diariamente para oferecer aos alunos a melhor experiência acadêmica possível.

Por fim, agradeço a minha orientadora, Tainá, pelos ensinamentos, direcionamentos, comentários construtivos que foram fundamentais para conclusão deste trabalho.

RESUMO

Empresas cimenteiras possuem papel relevante no desenvolvimento do Brasil. O material refratário, consumido nessas empresas, é um material importante para continuidade da operação de uma fábrica de cimento, que passam por paradas emergenciais quando existe a sua necessidade de troca. Contudo, a distância das fábricas produtoras deste material, majoritariamente localizadas na região Sudeste do Brasil, pode comprometer a agilidade do serviço. Dessa forma, o presente trabalho tem como proposta determinar a localização ótima de um centro de distribuição de refratários na região Nordeste do Brasil para atendimento ao mercado de cimento da região. Dessa maneira, a localização otimizada de centros de distribuição em regiões de alta demanda forneceria o material com maior celeridade aos clientes finais. Para tanto, serão utilizados dados de demanda de refratários, distância e custos de transporte e instalação, e propõe-se o cálculo da localização ótima por meio de três métodos: centro de gravidade, análise multicritério e localização de facilidades capacitado. Após a aplicação da metodologia, constatou-se que a localização mais adequada para instalação do(s) centro(s) de distribuição é no estado da Paraíba.

Palavras-chave: Logística. Centro de distribuição. Refratários. Cimento. Problema de Localização. Otimização.

ABSTRACT

Cement companies have an important role in the development of Brazil. The refractory material, consumed in these companies, is an important material for the continuity of cement plant operation, which sometimes may require emergency shutdowns, when there is a need for a refractory replacement. However, the distance from the factories that produce this material, mostly located in the Southeast region of Brazil, can compromise the agility of the service. Thus, the present work proposes to determine the optimal location of a refractory distribution center in the Northeast region of Brazil to serve the region's cement market. In this way, the optimal location of distribution centers in regions of high demand would provide the material more quickly to end customers. Therefore, data on refractory demand, distance and transport and installation costs will be used, and the calculation of the optimal location is proposed through three methods: center of gravity, multi-criteria analysis, and location of capacitated facilities. After applying the methodology, it was found that the most suitable location for installing the distribution center(s) is in Paraíba State.

Keywords: Logistics. Distribution Center. Refractory. Cement. Location problem. Optimization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Logística e gestão da cadeia de suprimentos 5
Figura 2 - Relação entre o tempo de resposta e número de facilidades 7
Figura 3 - Relação entre número de facilidades e o custo logístico 8
Figura 4 - Variação do custo logístico e tempo de resposta de acordo com o número de facilidades 8
Figura 5 - Estrutura hierárquica AHP 18
Figura 6 - Produção de cimento 26
Figura 7 - Localização das fábricas de cimento 30
Figura 8 – Fluxograma produção de materiais moldados 32
Figura 9 – Fluxograma produção de materiais refratários não moldados 32
Figura 10 – Localização de materiais refratários na produção de cimento 33
Figura 11 – Regiões do forno rotativo 34
Figura 12 - Etapas da pesquisa.....38
Figura 13 - Plantas de cimento Região Nordeste.....42
Figura 14 - Localização do centro de distribuição 49
Figura 15 - Localização do centro de distribuição 50
Figura 16 - Localização método centro de gravidade.....51
Figura 17 - Potenciais CDs.....52
Figura 18 - Distância CD João Pessoa ao porto mais próximo 59
Figura 19 - Distância CD Aracaju ao porto mais próximo.....60
Figura 20 – Diagrama Resultado método AHP 61
Figura 21 – Distância entre os resultados dos métodos.....62

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Produção de cimento no Brasil em milhões de toneladas 28
Gráfico 2 - Previsão de consumo de cimento por habitante.....29
Gráfico 3 – Distribuição do custo total anual do CD.....55
Gráfico 4 - Relação custo e número de facilidades.....56

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AHP	Método de Análise Hierárquica
CD	Centro de Distribuição
DOU	Diário Oficial da União
SNIC	Sindicato Nacional da Industria de Cimento
SIG	Sistema de Informações Geográficas
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Matriz de decisão 19
Tabela 2 - Índice Randômico 20
Tabela 3 - Demanda de refratários 46
Tabela 4 - Número de viagens ao ano 47
Tabela 5 - Distâncias das plantas de cimento ao centro de distribuição 48
Tabela 6 - Distâncias dos CD´s até as plantas de cimento 53
Tabela 7 - Custo de locação por cidade 54
Tabela 8 - Resultado do método de localização de facilidades capacitado 54
Tabela 9 - Comparação par a par dos critérios 56
Tabela 10 - Matriz Normalizada 57
Tabela 11 – Razão de Consistência 57
Tabela 12 – Custo total de cada alternativa 57
Tabela 13 - Comparação par a par - Custo 58
Tabela 14 - Matriz de custo normatizada 58
Tabela 15 – Umidade média de cada alternativa 58
Tabela 16 - Comparação par a par - Umidade 58
Tabela 17 – Matriz de umidade normalizada 59
Tabela 18 – Distância do CD ao porto mais próximo 60
Tabela 19 - Comparação par a par – Distância ao porto 60
Tabela 20 – Matriz distância ao porto normatizada 61
Tabela 21 - Resultado método AHP 61

Sumário

1 INTRODUÇÃO 1
1.1 Problemas e premissas 2
1.2 Objetivo geral 2
1.3 Objetivos Específicos 2
1.4 Justificativa e relevância 3
1.5 Estrutura do trabalho 3
2 REFERENCIAL TEÓRICO 4
2.1 Gestão da cadeia de suprimentos e logística 4
2.2 Centros de Distribuição 6
2.3 Importância dos CD's 9
2.4 Métodos para localização de CD's 11
2.5 Cimento 25
2.6 Refratários 31
3 METODOLOGIA 36
3.1 Caracterização do estudo 36
3.2 Justificativa dos métodos 36
3.2 Etapas da pesquisa 38
4 ANÁLISE DE DADOS 40
4.1 Área de estudo 40
4.2 Coleta de dados 40
5 RESULTADOS 45
6 CONCLUSÃO 64
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 66
APÊNDICE A – Método centro de gravidade 74
APÊNDICE B – Fórmulas do método centro de gravidade 75
APÊNDICE C – Solver do método centro de gravidade 76
APÊNDICE D – Método de localização de facilidades capacitado 77

APÊNDICE D – Fórmulas método de localização de facilidades capacitado.....78
APÊNDICE E – Solver método de localização de facilidades capacitado.....79
APÊNDICE F – AHP 80

1 INTRODUÇÃO

O mercado de cimento possui uma grande relevância para a sociedade moderna tendo em vista que é o segundo material mais consumido pelo ser humano, logo após a água (HELENE; ANDRADE, 2007). De acordo com o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC, 2019), existem 100 fábricas de produção de cimento no Brasil, localizadas em 88 munícipios e 24 estados, sendo 62 de unidades integradas e 26 de moagens. As fábricas estão localizadas predominantemente no litoral do País e em regiões de grande densidade populacional e onde há um bom mercado consumidor (obras de infraestrutura e construções residenciais).

O processo de produção de cimento pode ser dividido em extração de matérias primas, britagem, preparação da farinha, tratamento de combustíveis, pré-aquecimento, pré-calcinação, produção de clínquer no forno rotativo, resfriamento e moagem do cimento. Para a produção de cimento, é necessário o aquecimento da matéria prima no forno rotativo e ciclones para formação do clínquer. Nessas etapas de produção, é necessário a utilização de refratários para proteção das estruturas metálicas do forno e ciclone. Entende-se como refratário para a indústria de cimento o material que possui alta resistência mecânica, térmica e química. No País, a indústria de cimento é a segunda atividade industrial que mais consome refratário, atrás apenas da indústria siderúrgica.

As campanhas de materiais refratários, ou seja, sua vida útil, podem variar de 6 meses a 5 anos dependendo do material e da região onde são utilizados. A maioria das trocas desse material ocorrem nas paradas dos fornos, ou seja, quando existe uma parada programada na fábrica de cimento. No entanto, existem algumas paradas não programadas, de emergência, no qual a produção de cimento é interrompida imediatamente, devido ao risco potencial de dano na região metálica do forno. Caso não haja estoque desse produto nas fábricas cimenteiras, a demanda urgente pela sua aquisição surge como um problema, que é agravado pela produção concentrada na região sudeste do Brasil.

A região Nordeste é a segunda região com a maior produção de cimento em termos de volume do País. A região ainda possui perspectiva de crescimento da participação da produção de cimento até 2050, saindo de 22% do volume total produzido no Brasil em 2014 para 28% em 2050 (SNIC, 2019).

1.1 Problemas e premissas

Atualmente, é escassa a presença de centros de distribuição de materiais refratários para atendimento ao mercado de cimento na região Nordeste, tendo em vista que a produção é predominantemente realizada na região sudeste do País. Em virtude das paradas de emergência que ocorrem nas plantas de cimento, a locação de centros de distribuição para estoque desses materiais estrategicamente localizados, torna-se uma importante solução para um atendimento mais célere ao mercado cimenteiro.

Para o presente estudo, duas premissas iniciais foram adotadas para análise da demanda das plantas de cimento na Região Nordeste. Dessa maneira, foram consideradas apenas:

- Plantas de cimento que produzem clínquer. Plantas de moagem foram excluídas do estudo, tendo em vista que não demandam materiais refratários;
- Fábricas de cimento que estavam em operação no ano de 2021.

1.2 Objetivo geral

O objetivo geral desse trabalho é propor uma configuração otimizada da localização de um (ou mais) centro de distribuição de material refratário na Região Nordeste do Brasil. Para tanto, serão aplicados três diferentes métodos (centro de gravidade, análise multicritério e localização de facilidades capacitado), considerando distância, frete e demanda por cliente.

1.3 Objetivos Específicos

- Buscar na literatura trabalhos acadêmicos de otimização da localização de centros de distribuição;
- Analisar a demanda de refratários na região Nordeste;
- Analisar diferentes cenários (números de centros de distribuição e variação no custo);

- Analisar o custo total de transporte e locação.

1.4 Justificativa e relevância

A elaboração do trabalho se justifica pelo benefício que poderá ser proporcionado às fábricas de cimento da região nordeste, proporcionando uma cadeia de suprimentos de refratários mais célere e eficiente. Além disso, em virtude da escassez de trabalhos acadêmicos que abordem o tema de gestão da cadeia de suprimentos de refratários para o mercado de cimento na literatura, o presente estudo torna-se relevante para futuras análises em temas inerentes aos apresentados nesse trabalho.

1.5 Estrutura do trabalho

Este trabalho é formado por seis capítulos. O capítulo 1 aborda a introdução do tema, contextualizando a análise, apresentando objetivos, justificativas e o problema objeto de estudo. O capítulo 2, traz a revisão bibliográfica na qual este trabalho se baseia. No capítulo 3, é explicitada a metodologia de cálculo para execução e sustentação das análises propostas. O capítulo 4, apresenta dados e premissas adotados. Os resultados dos métodos assim como a discussão do mesmo encontram-se no capítulo 5. Por fim, a conclusão e sugestões de trabalhados futuros estão presentes no capítulo 6.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O presente capítulo tem como objetivo fornecer uma visão geral dos tópicos de maior relevância desse estudo. Primeiramente, são abordados temas relacionados aos conceitos de gestão da cadeia de suprimentos, logística e localização de centros de distribuição. Em um segundo momento, são apresentados os conceitos básicos de cimento, sua produção e cenário atual. Ao final desse capítulo, abordam-se os conceitos básicos relacionados a refratários, sua produção e atuação no processo produtivo da indústria de cimento.

2.1 Gestão da cadeia de suprimentos e logística

A gestão da cadeia de suprimentos possui um papel fundamental na resolução de problemas relacionados a demanda e abastecimento em ambientes de negócios cada vez mais dinâmicos e incertos. A gestão da cadeia de suprimentos é considerada mais que processo de apenas de administração de pedidos de clientes, mas um processo que engloba o fluxo desde a extração das matérias-primas necessárias para a produção até o seu consumo final (KOPCZAK; JOHNSON, 2003).

De acordo com Platt e Nunes (2007), a gestão da cadeia de suprimentos tem como objetivo:

> "... estruturar e gerenciar os elos entre a empresa líder (responsável pelo processo, marca ou produto-chave ao atendimento à demanda) e as demais participantes, visando tornar todo o processo de atendimento às necessidades dos consumidores finais um decurso mais eficiente do que seus concorrentes." (PLATT; NUNES, 2007, p. 75).

Nos últimos anos, a logística tem sido analisada como um componente da gestão da cadeia de suprimentos (BALLOU, 2006b). De acordo com CSCMP (2013), logística é parte do processo da cadeia de suprimentos e tem como objetivo o planejamento, implementação, fluxo e armazenamento de materiais ou serviços de forma a atender às demandas de seu cliente final de maneira satisfatória durante todo o processo.

De acordo com Islam *et al* (2013), existem cinco principais componentes que fazem parte do processo de gestão logística, são eles: transporte, armazenamento, estoque, embalagem do material e processamento das informações ao longo do fluxo.

O componente do transporte em logística refere-se ao modo escolhido para deslocamento do material, podendo ser via modo ferroviário, rodoviário, aéreo, marítimo, aquaviário, dutoviário ou utilizando uma combinação entre diferentes modos de transportes. Em relação ao armazenamento, localização e tamanho do armazém ou centro de distribuição são aspectos importantes na gestão logística. O estoque do material envolve decisões do gerenciamento do material a ser armazenado, tais como, por quanto tempo armazenar o produto e em qual quantidade. A Figura 1, ilustra a hierarquia dentro da cadeia de suprimentos.

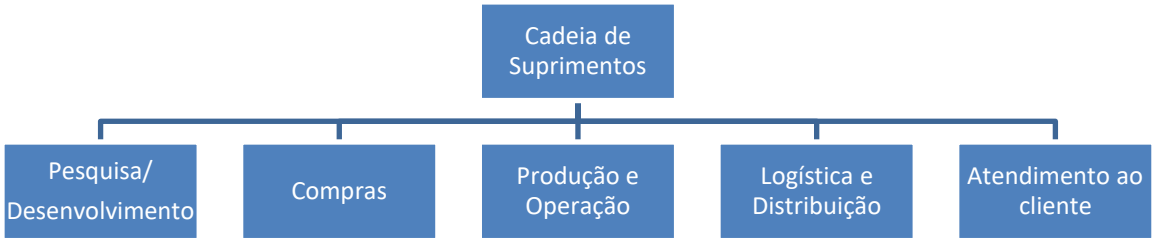


Figura 1 - Logística e gestão da cadeia de suprimentos
Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

A gestão logística atua de forma a atender os consumidores no tempo, local e quantidade negociada com o cliente (SOARES, 2016). Nesse contexto, a logística possui relação direta com a satisfação do consumidor, portanto, todos os fatores que compõem o processo logístico devem ter como objetivo principal a geração de valor ao cliente final ao longo de toda a cadeia de suprimentos (PLATT; NUNES, 2007).

Nos últimos anos com o aumento da tecnologia, uso de redes sociais e internet as expectativas dos consumidores aumentaram consideravelmente para entregas com o menor tempo possível. Nesse sentido, a satisfação do cliente final tem se tornado um importante indicador de lucro e crescimento das empresas a longo e médio prazo. Um dos fatores que propiciam a percepção de valor gerado ao cliente é a utilização de sistemas de transporte que fortalecem a performance reduzindo custos de envio do produto e entregas realizadas no tempo acordado com o cliente. Esses processos citados anteriormente, integram o sistema de gestão logístico e destacam a importância de centros de distribuição e transporte de materiais de maneira a aumentar a satisfação do consumidor final.

Em diversos segmentos industriais, principalmente de *commodities*, empresas que possuem centros de distribuição com objetivo de otimizar a logística de

atendimento aos clientes, possuem vantagem competitiva em relação aos concorrentes (ANDERSON *et al*., 2007).

2.2 Centros de Distribuição

Os Centros de Distribuição (CD's) são instalações (também referidos como 'facilidades', do termo inglês *facility*) que, normalmente, armazenam o inventário das empresas, que pode ser considerado como matéria-prima, materiais acabados, ou quaisquer outros materiais necessários pela organização para produção do material que posteriormente será transportado ao cliente (PRICE; HARRISON, 2015).

Atualmente, a filosofia utilizada pela gestão da cadeia de suprimentos moderna tem o cliente como foco do processo diferentemente do que ocorreu durante a década de 80 quando o foco era voltado especialmente apenas para o produto. Dessa maneira, as empresas que possuem a capacidade e agilidade para atendimento as necessidades do mercado são as líderes de seus segmentos (CHRISTOPHER; TOWILL, 2000).

As empresas estão constantemente buscando formas de redução de custos. A utilização de CD's podem proporcionar custos menores. Os centros de distribuições proporcionam custos menores de transporte e tempo menor de resposta às demandas do mercado por estarem com maior proximidade aos clientes. No entanto, como ponto negativo caso não haja uma gestão eficiente, centros de distribuição podem aumentar o custo de estoque do material. Dessa maneira, as empresas devem avaliar o custo-benefício das facilidades dependendo do objetivo de cada mercado.

De forma genérica, o termo *lead time* pode ser entendido como o tempo total de entrega do material normalmente mensurado em semanas sendo iniciado após o pedido do cliente até a sua entrega. Empresas que possuem longos períodos de entrega do material aos seus clientes possuem desvantagem competitiva uma vez que podem não estar preparados para suprir a demanda do mercado caso haja um aumento repentino da demanda (CHRISTOPHER; TOWILL, 2000). Dessa maneira, a preparação para o atendimento do mercado utilizando ferramentas de previsão de vendas a longo e médio prazo possuem um papel cada mais importante para satisfação do consumidor.

Ao analisar de forma específica, *lead time* pode ser dividido em *lead time* de produção e *lead time* de transporte. O *lead time* de produção refere-se ao tempo em semanas iniciado a partir do pedido do cliente até o período que o material esteja pronto para ser transportado. Enquanto o *lead time* de transporte refere-se ao tempo em semanas mensurado a partir do fim do processo produtivo até a entrega do material ao cliente final. Dessa maneira centros de distribuição reduzem o tempo total de *lead time,* atuando na redução do tempo de entrega de transporte.

As empresas que atendem um mercado que possui a característica de que o tempo de entrega do material não é primordial, tendem a possuir menos instalações, enquanto caso o mercado valorize mais o tempo de resposta, as empresas tendem a possuir um número maior de facilidades (CHOPRA, 2003). A Figura 2, ilustra a relação entre o tempo de resposta de acordo com número de facilidades.

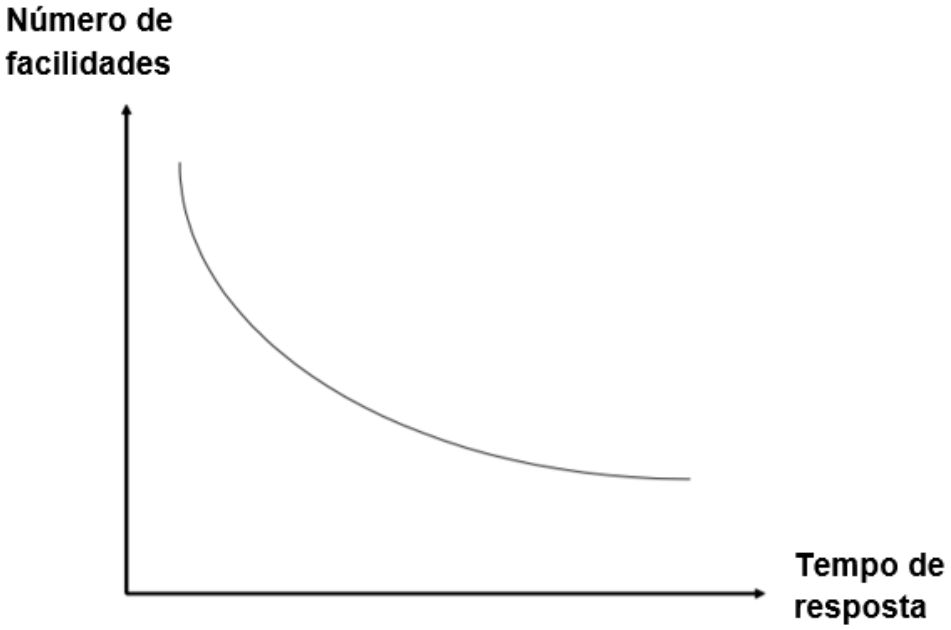


Figura 2 - Relação entre o tempo de resposta e número de facilidades
Fonte: Chopra, 2003. (Editado pelo autor).

Apesar do tempo de resposta mais ágil do fornecedor junto ao cliente, no entanto com a aumento das instalações, as empresas aumentam seu custo de estoque e custo fixo de instalação. Porém, ao aumentar o número de centros de distribuição o custo de transporte diminui uma vez que será necessário percorrer uma distância menor ao cliente final. Porém, para o custo de transporte, caso haja aumento significativo do número de facilidades a ponto de atingir uma perda significativa de economia de escala no transporte *inbound*, o custo de transporte irá aumentar.

Portanto, existe um número ótimo de facilidades que atendem determinado mercado, caso o objetivo seja a redução de custo de transporte (CHOPRA, 2003). A Figura 3 demostra a relação custo-benefício do número de facilidades. A Figura 4 demostra a associação entre variação do custo total de logística de acordo com o número de facilidades e tempo de resposta.

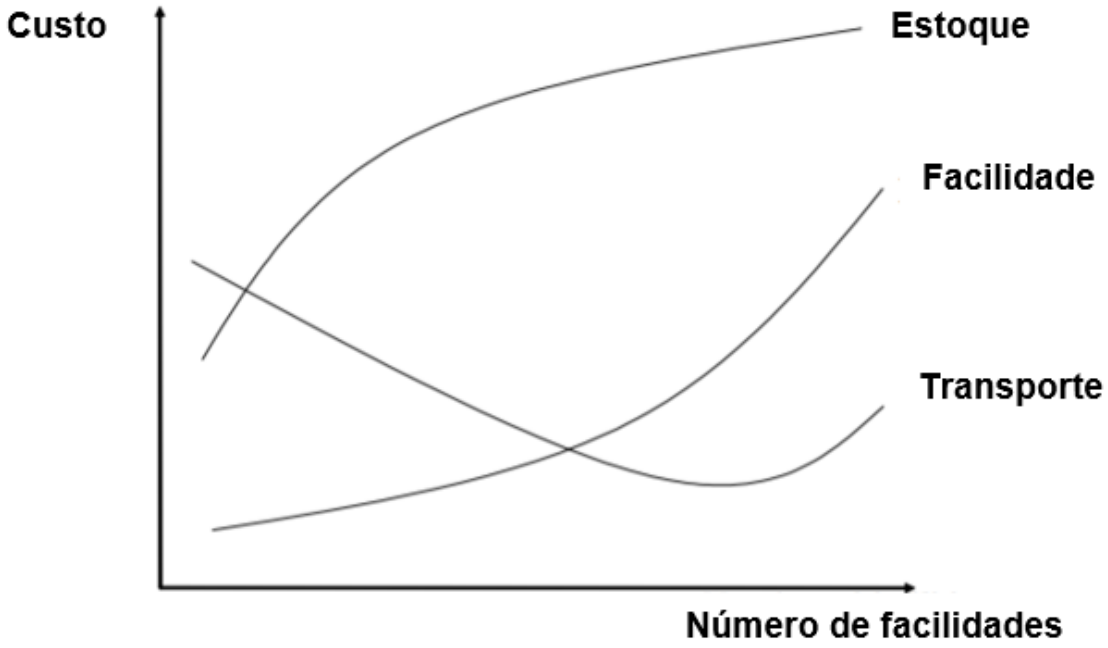


Figura 3 - Relação entre número de facilidades e o custo logístico
Fonte: Chopra (2003) (Editado pelo autor).

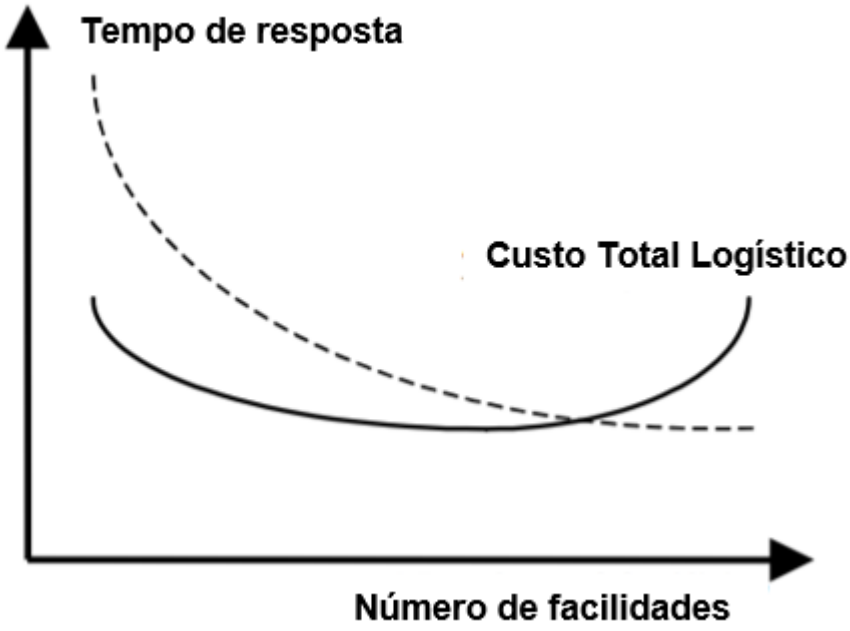


Figura 4 - Variação do custo logístico e tempo de resposta de acordo com o número de facilidades
Fonte: Chopra (2003) (Editado pelo autor).

De acordo com Baker (2008), os centros de distribuição desempenham algumas funções que contemplam as seguintes variações do mercado:

- Variação de volume: Causados principalmente pela variação de mercados que possuem sazonalidade de produção e altas flutuações de demanda pelo material. Um exemplo seria o mercado de cimento que pode ser considerado como um mercado sazonal uma vez que o maior volume de produção se concentra em períodos em que não há ocorrência significativa de chuvas, uma vez que o material será utilizado para obras;
- Variação de tempo: Importante quando existem pedidos de emergência do material e quando há dificuldade em calcular sua previsão. Um exemplo seria atendimento ao mercado de refratários para indústria cimento no qual existem paradas de emergências de fornos rotativos;
- Variação da quantidade: Quando existem variação da quantidade de peças solicitado pelo cliente, a existência de centros de distribuição com estoque disponível do material facilita a atendimento ágil ao consumidor.

2.3 Importância dos CD's

A decisão da localização de CD´s é um dos fatores mais importantes dentro da logística para planejamento a nível gerencial das empresas. A localização otimizada de CD´s contribuem para o gerenciamento adequado do nível de estoque a ser armazenada em cada armazém e transporte dos materiais até o cliente final. (BALLOU, 2006a).

O problema de localização de centros de distribuição envolve a organização espacial de recursos. Em aspectos gerais, o problema envolve a alocação de um ou mais centros de distribuição para atendimento grupos de clientes dispersos espacialmente (BRANDEAU; CHIU, 1989). O problema da localização de centro de distribuição tem como objetivo minimizar funções objetivas envolvendo distâncias lineares euclidianas ou retilíneas (MORADI; BIDKHORI, 2009).

A localização adequada de centros de distribuição visa o aumento da lucratividade das empresas e redução de incertezas que são inerentes às cadeias de suprimentos em um mundo global cada vez mais incerto e dinâmico (DEY, 2016). Tendo em vista a complexidade do problema da localização, existem diversos fatores

que fazem parte do processo de tomada de decisão da escolha de centros de distribuição (MORADI; BIDKHORI, 2009).

De acordo com Kalantari (2013), os fatores que mais fazem influenciam a localização de centros de distribuição são:

- Custo de transporte: O custo de transporte está presente na estrutura de qualquer empresa tendo em vista que o material produzido precisa ser enviado ao cliente;
- Custo de energia: decisões de centros de distribuição devem considerar custo de energia uma vez que em diferentes localidades pode ocorrer limitação de determinada de fontes de energia aumentando assim seu preço;
- Custo de construção de uma facilidade: Os custos de construção podem variar principalmente ao se comparar localidades de outros países. Portanto os países que produzem os equipamentos ou máquinas necessárias para construção possuem vantagem de custo ao se comparar com outros países que precisam importar material;
- Infraestrutura de transporte: A facilidade deve possuir acesso aos principais meios de transporte como: rodovias, ferrovias ou portos.
- Operação dos modais de transporte: Os modais de transporte devem possuir boa confiabilidade operacional tendo em vista que para uma operação contínua de plantas industriais ou centros de distribuição a confiabilidade da das operações é fator importante no processo de escolha;
- Existência de plantas ou centros de distribuição próximos: A existência de alguma facilidade da empresa na região em análise pode apresentar-se como restrição ao processo de escolha do novo centro de distribuição;
- Proximidade aos clientes: Possuir centros de distribuição próximos aos consumidores finais pode resultar em uma maior satisfação do consumidor tendo em vista que o tempo de entrega do material iniciado a partir de pedido do cliente a sua chegada diminui consideravelmente;
- Tamanho do mercado: As empresas devem, primordialmente, considerar localizações que envolvem mercados com alta demanda do material ou potencial aumento de demanda no futuro;

- Proximidade aos competidores: A localização de centros de distribuição de competidores ou plantas de produção também deve ser analisada durante a decisão da localização;
- Moeda local: Esse tipo de fator é importante quando é analisado opções de centros de distribuição em diferentes países. Dessa maneira as empresas tendem a evitar regiões do mundo que possuem moedas com tendencia de desvalorização em relação ao dólar ou euro;
- Fatores econômicos: Alguns critérios econômicos também devem estar presente na tomada de decisão, principalmente quando a existem possibilidades de plantas em diferentes regiões do mundo. Fatores como produto interno bruto e inflação também podem ser considerados durante o estudo;
- Clima: Regiões que possuem clima severo como temperaturas extremas e constantes eventos extremos da natureza como furação, tsunami ou terremoto devem ser evitados. Essas áreas não devem ser escolhidas pelas empresas visando a continuidade das operações.

De acordo com Ballou (2006a), as instalações de centros de distribuições podem ser divididas em instalações únicas e múltiplas. Segundo Pinto (2015), as instalações únicas podem ser em classificadas em: (i) ponto de equilíbrio; (ii) multicritério; (iii) centro de gravidade. Ao se analisar a localização para múltiplos centros de distribuições os métodos de análise podem ser divididos em: (i) exatos; (ii) simulação; (iii) heurísticos.

2.4 Métodos para localização de CD’s

O presente subcapitulo tem como objetivo apresentar conceito dos métodos de localização de centro de distribuição assim como trabalhos acadêmicos que aplicaram métodos para resolução de problemas de localização.

2.4.1 Método do centro de gravidade

O método de centro de gravidade permite encontrar a localização centro de distribuição através dos custos de transporte, localização dos clientes e demanda. O

principal objetivo do método de centro de gravidade para problemas de localização é minimizar os custos de transportes entre a instalação e a demanda a ser atendida (Slack *et al*., 2013).

De acordo com Ballou (2006a, p. 437), o objetivo do método é “minimizar a soma do volume em um ponto multiplicado pela tarifa de transporte para embarcar, multiplicado pela distância até o ponto, que é o custo total de transporte”. O custo mínimo de transporte é calculado através da Equação 1.

$$Min\ TC\ =\ Vi\ Ri\ di \tag{1}$$

Onde:

- TC = Custo total do transporte
- Vi = Volume no ponto i;
- Ri = Taxa de transporte até o ponto i;
- di = Distância até o ponto i da instalação a ser localizada.

O processo de solução do método de centro de gravidade envolve diversas etapas, começando pela determinação das coordenadas X, Y de cada ponto da origem e destino, em conjunto com o volume a ser transporte e sua tarifa linear de transporte. O cálculo é dado pelas Equações 2 e 3.

$$\bar{x} = \frac{\sum_i V_i R_i X_i}{\sum_i V_i R_i} \tag{2}$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_i V_i R_i Y_i}{\sum_i V_i R_i} \tag{3}$$

Onde:

- Vi = Volume transportado para o ponto i;
- Ri = Custo de transporte na direção do ponto i;
- Xi = Coordenada horizontal do ponto i;
- Yi = Coordenada vertical do ponto i.

A partir do resultado das coordenadas das Equações 2 e 3, é necessário o cálculo da distância, dado pela Equação 4, sendo que K, representa o fator de escala para conversão da distância em unidades de medidas mais utilizadas.

$$d_i = K\sqrt{(X_i \pm \bar{X})^2 + (Y_i \pm \bar{Y})^2} \quad (4)$$

Segundo Ballou (2006a), para uma maior precisão da solução ótima e quando há um número grande de pontos de demanda, a resolução do método de centro de gravidade exige que sejam realizados processos iterativos para encontrar a localização ótima. Portanto, o método de aproximações sucessivas é utilizado para o novo cálculo das coordenadas utilizando as Equações 5 e 6. Esse cálculo é realizado até que os valores das coordenadas $\bar{X}$ e $\bar{Y}$ não sejam alterados após nova iteração.

$$\bar{X} = \frac{\Sigma V_i R_i X_i \,/\, d_i}{\sum V_i R_i \,/\, d_i} \quad (5)$$

$$\bar{Y} = \frac{\Sigma V_i R_i Y_i \,/\, d_i}{\sum V_i R_i \,/\, d_i} \quad (6)$$

Por fim, após sucessivas iterações do método de centro de gravidade, a Equação 1 é utilizada com o objetivo de minimizar o custo total da melhor localização.

2.4.1.1 Estudos relacionados ao método de centro de gravidade

A utilização do método de centro de gravidade pode ser constatada em diversos trabalhos na literatura. Da Silva *et al*. (2012) aplicou o método para avaliar a localização de uma base de equipamentos de movimentação de materiais de uma empresa siderúrgica. Os resultados de seu estudo constataram que as técnicas de localização devem ser utilizadas na tomada de decisões, entretanto, os julgamentos dos funcionários da empresa também dever ser utilizados no processo de decisão.

Souza *et al.* (2015) aplicaram o método de centro de gravidade para localização de uma transportadora rodoviária de cargas. O método foi aplicado com o objetivo de comparar a localização atual da empresa com os resultados do estudo. Os autores sugeriram em sua conclusão a utilização de métodos complementares ao método de centro de gravidade que utilizem a consideração de outros fatores relevantes ao processo de tomada de decisão para permitir uma análise mais abrangente das alternativas.

De Souza Pereira *et al*. (2019) aplicaram o método de centro de gravidade em conjunto com o método de análise multicritério com o objetivo de instalar uma transportadora rodoviária de cargas. Primeiramente, foram selecionadas 4 localizações com custos menores que a atual localização da empresa através do método de centro de gravidade e posteriormente o método de ponderação qualitativa de fatores foi utilizado. Os autores constaram que a nova localização sugerida no estudo, após análise dos resultados, diminuiria os custos da empresa em R$ 75.242, 56. Os autores do estudo ainda concluíram que através da aplicação dos métodos citados anteriormente a decisão do problema de localização pode ser analisada através de métodos qualitativos e quantitativos.

Silva (2020) aplicou o método de centro de gravidade em conjunto com o método de AHP (*Analytical Hierarchy Process*) para estudo de localização de um centro de distribuição de um operador logístico. Em seu estudo a autora aplicou o método de centro de gravidade como macro análise, entretanto, a localização encontrada através do método foi um local situado em uma floresta no estado de Minas Gerais, o que tornaria inviável a operação, portanto, o método de análise multicritério foi utilizado para refinar a microlocalização da localização do centro de distribuição do operador logístico. Ainda de acordo com a autora, ainda que o resultado do método AHP situa-se no estado do Rio de Janeiro, a cerca de 370 quilômetros do resultado do método do centro de gravidade, foi possível concluir a coerência entre os métodos analisados, tendo em vista que o resultado do método da análise via multicritério situa-se em importante *hub* logístico do País.

Bittencourt e Junior (2021) utilizaram o método de centro de gravidade para encontrar a localização ótima de centro de economia circular com objetivo de realizar a coleta de óleo de cozinha no município de Vitoria, Espírito Santo. Para aplicação do método foram utilizados dados referentes ao consumo de óleo de cozinha de cada bairro assim como suas coordenadas geográficas. Os autores ressaltam que um ponto negativo do método é que não são considerados aspectos qualitativos ao se analisar somente pelo método de centro de gravidade.

O método também foi aplicado por Soares *et al*. (2020) para identificar a melhor localização de centros de triagem de logística reversa para reciclagem de papel utilizados pelos alunos das escolas de determinado bairro do município de São Paulo.

De acordo com os autores, o método apresenta como limitação a não utilização de custos fixos em sua análise assim como fatores qualitativos.

2.4.2 Método Multicritérios

De acordo com Özcan *et al*. (2011), análise multicritérios tem como essência a avaliação da melhor opção a partir da comparação com alternativas com objetivo de obter uma classificação a partir de critérios quantitativos ou qualitativos. Segundo Belton e Steward (2002), um dos objetivos principais da análise multicritérios, é gerir a subjetividade presente em diversos processos de tomadas de decisão e integrar a objetividade no processo de decisão.

Para Dey (2016), a análise multicritério pode ser mensurada através de diversos métodos. Os métodos mais utilizados na literatura são:

- TS (*Total Sum*);
- SAW (*Simple Additive Weighting*);
- AHP (*Analytical Hierarchy Process*);
- MOORA (*Multi-Objective Optimization on the basis of Ratio Analysis*);
- ELECTRE (*Elimination et Choice Translating Reality*);
- PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*);
- TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to the Ideal Solution*).

A análise multicritério pode ser aplicada para resolução de problema de localização (LEYVA-LOPEZ; FERNANDEZ-GONZALEZ, 2003). Diversos métodos dentro da análise multicritério tem sido publicados na literatura que demostram a importância e relevância da análise multicritério para resolução de problemas de localização.

2.4.2.1 Estudos relacionados ao método multicritério

O método PROMETHEE faz parte do grupo de métodos *outranking* baseado na comparação entre pares. Esse método é utilizado em problemas quando existem

critérios finitos que são conflitantes entre si (ALBADVI *et al*., 2007). Segundo Athawalei *et al*. (2012) o método PROMETHEE apresenta-se como uma opção para resolução de problemas de localização. O método PROMETHEE é baseado no *ranking* entre alternativas e para aplicação do método são necessários um conjunto de alternativas e critérios.

Oliveira Queiroz e Rangel (2019) aplicaram o método PROMETHEE II para escolha de localização de uma planta dosadora de concreto. Ainda de acordo com os autores o método PROMETHEE simplificou os resultados a partir da ordenação das alternativas.

Bezerra Segundo (2020) aplicou o método PROMETHEE II para determinar a localização de um ponto comercial de uma empresa de *marketing* jurídico na cidade de Mossoró. De acordo com o autor, a partir da utilização do método foi possível construir um *ranking* das melhores alternativas de localização de acordo critérios estabelecidos.

Para (SARI *et al*., 2020), os métodos PROMETHEE e AHP apresentaram resultados satisfatórios para o problema de localização para apicultura. O método AHP foi selecionado por Koç e Burhan (2015) para decisão da escolha de uma nova instalação de uma loja. Em seu trabalho a seleção foi considerada a partir de 3 alternativas, 5 critérios e 16 subcritérios.

Para aplicar o método AHP (*Analytical Hierarchy Process*) o problema a ser analisado deve ser decomposto em uma hierarquia composta pelo objetivo, critérios e alternativas a serem escolhidas (MARINONI, 2004). Além disso, o método AHP permite que os valores dos critérios sejam possíveis de serem mensurados (SAATY, 2000).

O método MOORA (*Multi-Objective Optimization on the basis of Ratio Analysis*) consiste em um processo de otimização simultânea de múltiplos objetivos a partir de dois critérios conflitantes entre si (KARANDE; CHAKRABORTY, 2012). Mangalan (2016) aplicou o método MOORA em conjunto com TOPSIS para seleção da localização ótima de centros de distribuição.

Os métodos ELECTRE consistem na avaliação dos índices de concordância e discordância. Esses métodos possuem 4 versões. ELECTRE I auxilia na resolução onde existem problemas na identificação da melhor alternativa. Enquanto os

ELECTRE II, III e IV são utilizados para problemas que utilizam *rankings* para escolha da melhor alternativa (BOJKOVIĆ *et al*., 2010).

Ainda segundo Bojković *et al.* (2010) a principal vantagem do método ELECTRE consiste em utilizar análise de critérios não compensatórios. Como desvantagem, de acordo Wang e Triantaphyllou (2008), os métodos do grupo ELECTRE apresentam resultados inconsistentes quando as alternativas são semelhantes entre si.

O método TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to the Ideal Solution*) é baseado no conceito que a melhor opção deve estar mais próxima da alternativa ideal e mais distante possível da pior alternativa (LI, 2011). Choudhary e Shankar (2012) aplicaram o método TOPSIS em conjunto com o método AHP para determinar localização de usina termelétrica na Índia. Ainda de acordo com os autores, a escolha do método permitiu a utilização de outros critérios importantes para tomada de decisão de usinas termelétricas como aspectos sociais e impacto ao meio ambiente.

Os fatores utilizados na análise multicritérios para o problema de localização podem ser divididas em três critérios diferentes: crítico, subjetivo e objetivo. O critério crítico refere-se a análise que deve ser avaliada e satisfeita a partir da escolha de possíveis candidatos a localização, tendo em vista que há opções que não atendam requisitos mínimos, como por exemplo, a escolha da localização de determinada fábrica de cimento deve ser próxima a minas de calcário. O critério subjetivo refere-se aos que possuem incertezas e não são exatos. Enquanto, o critério objetivo refere-se a valores que podem ser calculados e mensurados (DEY, 2016).

Diversas técnicas podem ser utilizadas para resolução análises multicritério, entretanto, os resultados podem apresentar diferenças dependendo do método utilizado. Os resultados podem ser diferentes entre si, porque cada método é utilizado para determinado objetivo e, portanto, possui uma formulação diferente em cada metodologia. No entanto, caso haja diferenças entre os resultados dos diferentes métodos, esses valores devem permanecer dentro de um limite aceitável (ROMERO, 2006).

2.4.2.1 O Método AHP

O método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) foi um método desenvolvido pelo professor Thomas Lorie Saaty entre os anos de 1971 e 1975 (SAATY, 1987). O problema AHP é dividido em uma hierarquia composta por objetivo, critérios e alternativas. No entanto, a depender do problema em análise, os critérios podem ser subdivididos em subcritérios. Ainda de acordo com Saaty (1987), as hierarquias devem ser complexas suficientes para representar a complexidade do problema a ser resolvido, porém devem ser pequenas e ágeis suficientes para ser sensitivos as mudanças. A Figura 5 ilustra a divisão do método AHP.

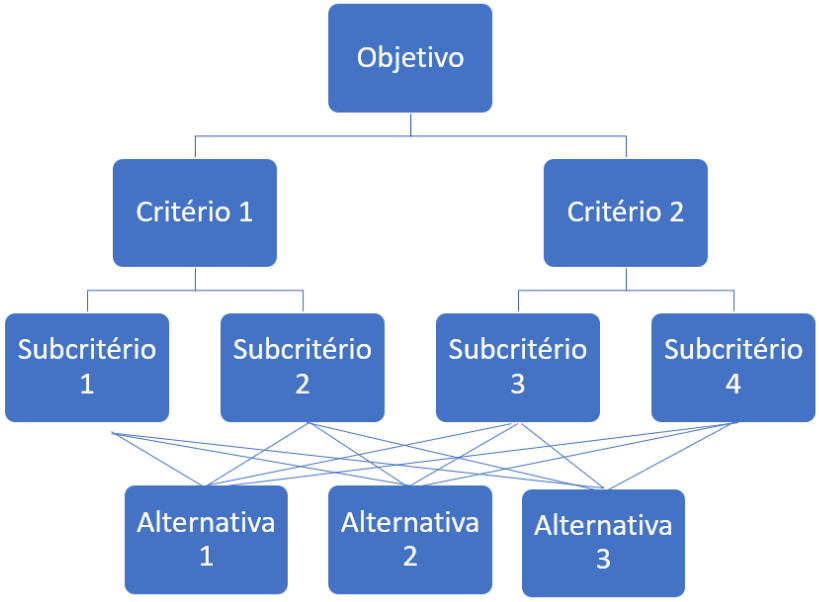


Figura 5 - Estrutura hierárquica AHP
Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Após a definição da estrutura hierárquica do método, a tabela de escala fundamental foi utilizada para estabelecimento de prioridades. De acordo com Saaty (2008), a escala fundamental de números absolutos é utilizada para fazer comparação em pares de elementos para indicar quantas vezes um elemento é dominante em relação ao outro. Os valores na tabela variam de 1 até 9. O Quadro 1 exemplifica o significado de cada um dos valores.

Quadro 1 – Escala Fundamental

Importância da Intensidade	**Definição**	**Explicação**
1	Mesma importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo

3	Importância moderada	a experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação a outra
5	Grande importância	a experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação a outra
7	Grande importância ou demonstrada	uma atividade é muito fortemente favorecida em relação a outra; sua dominação de importância é demonstrada na prática
9	importância absoluta	a evidência favorece uma atividade em relação a outra com o mais alto grau de convicção.
2,4,6,8	valores intermediários entre os valores adjacentes	quando se procura uma condição de compromisso que se encontram entre duas definições
Recíprocos dos valores acima de zero	se a atividade i recebe uma das designações acima de zero, quando comparada com a atividade j, então j tem o valor recíproco quando comparada com i	Uma designação razoável
racionais	razões a partir da escala	se a consistência tiver que ser forçada para obter valores numéricos n, para completar a matriz.

Fonte: Saaty (2004)

Para solução do problema, realiza-se a elaboração de matrizes de decisão com o objetivo de comparar critérios, alternativas e objetivos. A matriz é construída a partir dos valores da importância da intensidade de comparação em cada par. Dessa maneira, os julgamentos são analisados a partir da linha e comparados com sua respectiva coluna. O preenchimento da diagonal principal é sempre igual a 1 e os valores da matriz abaixo da diagonal principal preenche-se pela razão entre os valores acima da diagonal principal. A Tabela 1 ilustra a tabela de matriz de decisão utilizada para o método AHP.

Tabela 1 - Matriz de decisão

Critério	1	2	. . .	n
1	1	a_{12}	. . .	a_{1n}
2	$1/a_{12}$	1	. . .	a_{2n}
.	.			
.	.			
n	$1/a_{1n}$	$1/a_{2n}$	. . .	1

Fonte: Autor (2021).

A próxima etapa do método AHP é o cálculo das prioridades. No método AHP as prioridades são calculadas pela normalização das matrizes de decisão. A normalização deve ser realizada para cálculo dos pesos que serão atribuídos para cada critério. O processo de normalização pode-se ser resumido a seguir:

- 1ª Etapa: O processo é iniciado pela soma dos valores dos julgamentos preenchidos na tabela 2;
- 2ª Etapa: Em seguida os valores são divididos pelo somatório de cada coluna;
- 3ª Etapa: As médias aritméticas de cada coluna são calculadas;
- 4ª Etapa: Na última etapa um vetor é construído a partir das médias aritméticas calculadas na etapa anterior.

Após a realização das etapas descritas anteriormente, é necessário o cálculo do índice de consistência. Esse índice é importante porque nem todas as matrizes de decisão possuem nível de consistência. Dessa maneira, por tratar de um julgamento humano, é aceitável que uma matriz de decisão tenha um certo nível de inconsistência em sua avaliação. Saaty (1987) desenvolveu uma fórmula para cálculo do índice de inconsistência dado pela Equação 7 que permite avaliar se o nível de inconsistência da matriz está dentro de um limite aceitável.

$$IC = \frac{(\lambda \max - n)}{(n-1)} \tag{7}$$

Onde:

- n = número de fatores de decisão;
- λ_{max} = Média aritmética dos vetores da etapa de cálculos das prioridades.

Após o cálculo do Índice de consistência, é necessário o cálculo da Razão de Consistência na qual o Índice de Consistência é divido pelo índice Randômico, dado pela Equação 8. De acordo com Saaty (1987), o resultado da razão de consistência deve ser menor ou igual a 10%. Caso esse valor seja maior que o limite, a matriz de comparação deve ser revisada. A

Tabela 2 ilustra os valores dos Índices Randômicos para cálculo da Razão de Consistência que varia de acordo com o tamanho da matriz.

$$RC = \frac{IC}{IR} \tag{8}$$

Tabela 2 - Índice Randômico

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: Saaty (1987)

2.4.2.1.1 Estudos relacionados ao método AHP

Diversos trabalhos na literatura aplicaram o método AHP para resolução de problemas de localização. Da Silva (2017) aplicou o método AHP para determinar localização para otimizar localização de postos de atendimento hospitalar de emergência na cidade de Maringá. Em seu estudo o autor selecionou 5 possíveis alternativas de localização e 6 critérios. Um dos objetivos do estudo foi comparar e analisar o cenário atual do posto de atendimento de emergência com o resultado do modelo. Ainda de acordo com o autor foi possível constatar que o posto atual não se encontra na melhor localidade e que existem a possibilidade de acrescentar outros pontos de emergência hospitalar com objetivo de otimizar o atendimento.

De Carlos e Samed (2017) aplicaram o método AHP para auxiliar a tomada de decisão da localização de armazéns de trigo no estado do Paraná. Em seu estudo foram utilizados sete critérios: acesso aos modais, condições de armazenagem, parceria comercial, cobrança taxa de armazenagem, capacidade de armazenagem, proximidade com regiões produtoras e proximidade com clientes. De acordo com os autores a utilização do método adicionou objetividade ao processo de escolha.

Gonçalves *et al*. (2003) utilizaram a metodologia AHP para escolha da localização da reitoria de uma universidade. No estudo, especialistas foram consultados através de questionários com objetivo de realizar os julgamentos necessários para montagem das matrizes. Ainda de acordo com o autor a principal dificuldade do método consiste no número excessivo de julgamentos quando as estruturas hierárquicas possuem alto nível de complexidade.

Santos *et al*. (2019) aplicaram o método como auxílio na decisão da localização de instalações geradores de energia solar fotovoltaica no estado do Sergipe. Foram utilizados no estudo 5 critérios e 10 alternativas. Dentro da metodologia adotada no trabalho os critérios do método AHP foram auxiliadas pelo processamento digital de imagens.

Ka (2011) aplicou o método AHP em conjunto com o método ELECTRE para seleção da localização de portos secos na China. Os portos secos fornecem apoio

logístico a operação de importação e exportação de mercadorias em um País. De acordo o autor o processo de seleção de onde construir portos secos é um processo de tomada de decisão que envolvem diversos fatores como aspectos humanos e meio ambiente. No estudo foram utilizados 6 critérios: custo, transporte, infraestrutura, volume de comércio e conjuntura política. Além disso, a seleção do porto foi estudada a partir de 7 localidades. O método AHP foi aplicado inicialmente para cálculos dos pesos e posteriormente o método ELECTRE foi utilizado para elencar as alternativas em forma de *ranking*. Segundo o autor a combinação de dois métodos de análise multicritério mostrou-se eficiente para seleção de portos secos.

Tadić *et al*. (2012) utilizaram método AHP em combinação com o método TOPSIS para auxiliar na tomada de decisão da localização de centro logísticos na cidade de Belgrado, Sérvia. De acordo com os autores, a seleção do método AHP e TOPSIS permitiu analisar resultados a partir de critérios quantitativos e qualitativos e considerar fatores como a subjetividade e ambiguidade do pensamento humano no processo de análise.

Lozano (2006) aplicou o método de análise hierárquica para avaliação da localização de barragens de mineração na cidade de Carmen de Atrato, Colômbia. O estudo foi analisado a partir de 3 alternativas, 5 critérios e 4 subcritérios com objetivo de encontrar a localização com menor impacto ambiental. De acordo com o autor, a utilização do método permitiu reduzir a subjetividade do processo de tomada de decisão, porém a maior dificuldade do método consiste em definir quais serão os critérios e subcritérios adotados pelo AHP. O autor ainda constatou em seu estudo que utilizar o método, avaliando aspectos como custos e fatores qualitativos, permitiu analisar o problema holisticamente.

2.4.3 Localização de facilidades capacitado e não capacitado

Na literatura o problema de instalação de facilidades, como plantas industriais ou centros de distribuição, tem como objetivo principal minimizar custos ou maximizar lucros das empresas satisfazendo a entrega de determinado material para um conjunto de clientes, é conhecido como problema da localização de planta industrial ou localização de facilidades. De maneira geral, o problema pode ser classificado de duas formas: problema de localidade capacitado e não capacitado. Quando cada

potencial centro de distribuição ou planta industrial possui capacidade determinada com o objetivo de fornecer todo o material disponível, o problema é chamado de problema de localidade de facilidades capacitado. No entanto, quando não é necessário utilizar a capacidade do potencial centro de distribuição, o problema é classificado como problema de localidade de facilidades não capacitado (CORNUÉJOLS *et al*., 1983).

O problema universal de localização de facilidades é definido a partir de dado conjunto de clientes e facilidades. Os clientes são considerados pontos de recebimento de demanda, enquanto, as facilidades são classificadas como pontos de saída de demanda. Dessa maneira, cada cliente que pertencente ao conjunto de recebimento de demanda possui volume a ser recebido a partir dos centros de distribuição (MAHDIAN; PÁL, 2003).

$$Min \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} c_{ij}\, x_{ij} + \sum_{i \in I} f_j\ y_j \tag{9}$$

Sujeito as seguintes restrições:

$$\sum_{i \in I} x_{ij} = b_{j,} \quad \forall\, i \in \tag{10}$$

$$\sum_{j \in J} x_{ij} \leq a_i y_i \,\forall\, j \in J \tag{11}$$

$$x_{ij} \geq 0, \forall\, i \in I \; e \; j \in J \tag{12}$$

$$y_j \in \{0,1\}, \forall\ j \in J \tag{13}$$

Onde:

- I: Conjunto de facilidades i;
- J: Conjunto de clientes j;
- c_{ij} :refere-se ao custo para servir o cliente j a partir da facilidade i;
- a_i : refere-se à capacidade das facilidades i;
- b_i : refere-se à demanda dos clientes j;
- x_i : volume a ser transportado a partir das facilidades i;
- y_i : variável binária referente a instalação das facilidades;

A Equação 9 tem como objetivo minimizar custos. A Equação 10 assegura que todos os clientes devem ser atendidos com a produção da facilidade, portanto, essa restrição garante que volume da demanda dos clientes sejam cumpridos. A Equação 11 assegura que o fornecimento do material seja realizado por facilidade aberta e que capacidade de fornecimento da facilidade não seja excedida. A Equação 12 fornece limite inferior para que um volume negativo não seja transportado. A Equação 13 restringe os valores binários da variável, portanto, caso o valor seja 0 a facilidade não será instalada, no entanto, caso o valor seja 1, a instalação será instalada (SILVA; OLIVEIRA FILHO, 2005).

2.4.3.1 Estudos relacionados ao método de localização de facilidades capacitado

Praça *et al*. (2005) aplicaram o método de localização de facilidades capacitado para localização de planta de produção de biodiesel a partir da mamona com objetivo de minimizar custos de implantação e distribuição. O biodiesel fornece uma alternativa ambiental importante para substituição de outros combustíveis nocivos ao meio ambiente. Para delimitação das facilidades apenas 7 dos 37 municípios da área piloto foram consideradas como opções para facilidades. De acordo com os autores ao analisarem os resultados foi possível constatar que a maior parte do custo é relacionado ao custo de distribuição ao se comparar com os custos de instalação. Os autores em seu estudo realizaram a análise dos resultados através dois cenários adicionais. O primeiro cenário foi considerado que necessariamente no município de Quixadá haveria a instalação de uma planta produtora, enquanto no segundo cenário foram reduzidas as capacidades das plantas produtoras de biodiesel. Por fim, segundo os autores, a utilização do método permitiu a redução dos custos globais, porém recomendaram que sejam considerados em trabalhos futuros outros fatores como competitividade do biodiesel a partir da mamona em relação a outros combustíveis.

De Souza e Samed (2012) aplicaram o método para auxiliar na tomada de decisão da escolha da localização de uma montadora de implementos rodoviários no estado de São Paulo. Foram consideradas 5 cidades candidatas. No estudo foram utilizados dois métodos para avaliação. O método de localização de facilidades foi aplicado para análise quantitativa com objetivo de minimizar o custo de instalação e

transporte, enquanto, o método de ponderação de fatores foi escolhido para análise qualitativa. A cidade de Indaiatuba foi a que apresentou como melhor localização em ambos os cenários o que de acordo com os autores facilitou o processo de tomada de decisão.

Volpi *et al*. (2014) utilizaram o método de localização de facilidades para determinar localizações ótimas para implantação de polos de tratamento de resíduos na cidade de Curitiba com objetivo de reduzir custos e otimizar o reaproveitamento do lixo da região. Os autores realizaram cinco simulações com diferentes possibilidades de escolhas para instalação dos centros de tratamento de resíduos.

2.5 Cimento

De acordo com a norma brasileira NBR 16697 (ABNT, 2018):

> “O cimento Portland é um ligante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland, ao qual se adiciona, durante a fabricação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio e adições minerais nos teores estabelecidos pela norma NBR 16697. "(ABNT, 2018, p. 2).

O cimento é o insumo fundamental para a cadeia produtiva da indústria da construção, componente básico de concretos e argamassas e o material feito pelo homem mais utilizado no planeta (ABCP, 2021). Além disso, atualmente o concreto é considerado como o material estrutural mais importante para a construção civil (HELENE; ANDRADE, 2007). O processo de produção de cimento pode ser dividido em algumas etapas: extração das matérias primas, britagem, preparação da farinha crua, pré-aquecimento, produção de clínquer no forno rotativo, resfriamento, moagem e ensacagem (RESUENHO, 2017). Essas etapas podem ser encontradas de forma resumida nos subtópicos a seguir.

2.5.1 Processo produtivo do cimento

A matéria prima principal para a produção do cimento é o calcário. A localização das plantas de produção de cimento, possuem proximidade com fontes de insumo, visando principalmente redução de custo (DA SILVA, 2012). Outros materiais, também

conhecidos como corretivos, são utilizados no processo, como minério de ferro, argila e areia. Esses materiais extraídos são britados e transportado para fábrica de cimento (ABCP, 2021). A Figura 6 demonstra o processo de fabricação de cimento.

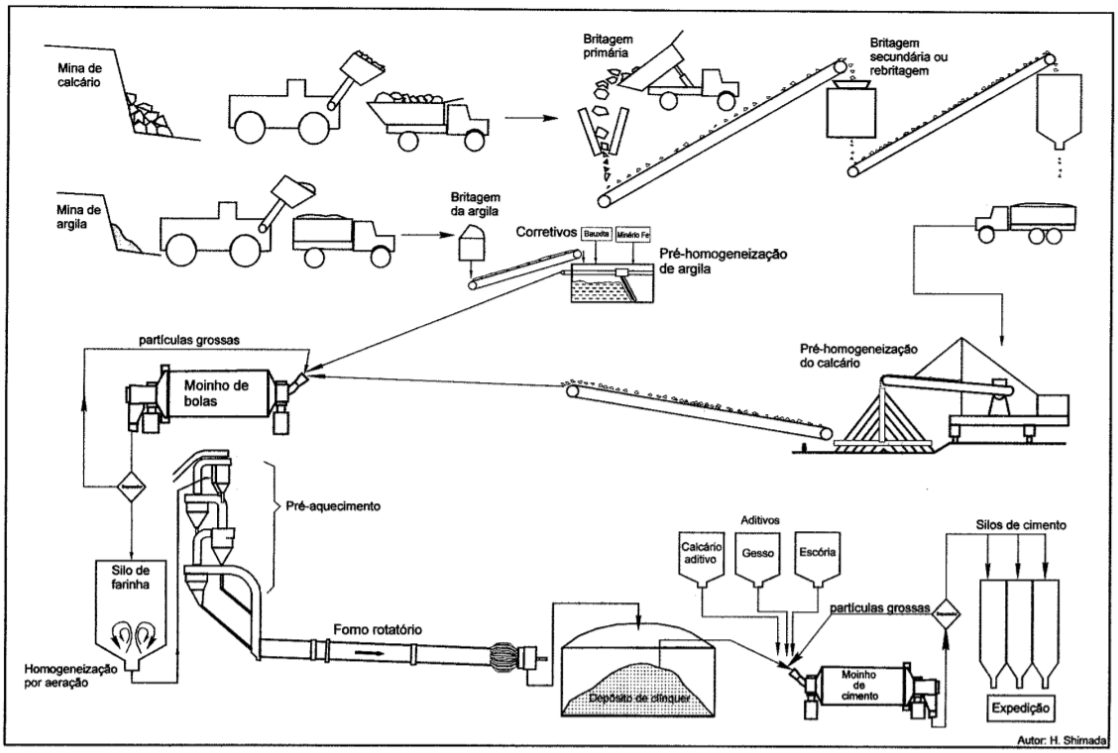


Figura 6 - Produção de cimento
Fonte: Shimada (1999).

As matérias primas descritas acima são moídas para produção da farinha crua. A farinha é então pré-aquecida em ciclones verticais. Esse aquecimento é realizado através de gases que se movem na direção oposta a farinha. Portanto, parte das reações necessárias para formação do clínquer já ocorre nessa etapa (ACBP, 2019).

A farinha então pré-calcinada, é direcionada ao forno rotativo, que consiste em tubo metálico cilíndrico que rotaciona de maneira lenta a baixas rotações por minuto. À medida que o forno rotaciona, a farinha desliza e vai em direção a zonas mais quentes do forno, portanto em direção à chama. O calor provocado pela chama, induz reações químicas e físicas que fundem parcialmente a farinha, transformando a farinha no material conhecido como clínquer Portland (ACBP, 2019).

Para a produção do clínquer no forno rotativo, são utilizados combustíveis alternativos e combustíveis fósseis (coque). Nos últimos anos, combustíveis alternativos estão sendo utilizados como substitutos dos combustíveis convencionais em plantas de produção de cimento (MOKRZYCKI; ULIASZ-BOCHEŃCZYK, 2003).

De acordo com Larsen (2007), os combustíveis alternativos podem ser divididos em sólido, líquido e gasoso. Os combustíveis alternativos sólidos são os mais utilizados pela indústria cimenteira, enquanto os gasosos são utilizados com menor frequência.

Após a etapa do forno rotativo, o clínquer é então resfriado e homogeneizado com gesso e moído para transformação em cimento Portland. A adição de gesso se faz necessário para controlar o tempo de pega do material em obra. Existe a possibilidade de adições de outros aditivos, sendo que cada aditivo proporciona uma característica diferente de aplicação ao cimento.

O processo é concluído com a homogeneização do cimento Portland e o seu armazenamento em silos. Após o armazenamento em silos, o material já está disponível para envio ao cliente final. O material então pode ter como destino obras de infraestrutura, edificações ou ser enviado para distribuidores que então revendem o material para o auto construtor. De acordo com a norma brasileira NBR 16697 (ABNT, 2018), o cimento Portland pode ser classificado em:

- Cimento Portland comum;
- Cimento Portland composto;
- Cimento Portland de alto-forno;
- Cimento Pozolânico;
- Cimento Portland de alta resistência inicial;
- Cimento Portland branco.

2.5.2 Mercado de Cimento no Brasil

O cenário econômico brasileiro apresenta relação direta com a produção de cimento do País. Da Silva (2012) constatou que a relação entre o Produto Interno Bruto (PIB) e a produção de cimento possui uma correlação de 88% ao se comparar valores do PIB e produção de cimento entre os anos 1986 e 2010. Dessa maneira, é possível utilizar o modelo de regressão linear para analisar a previsão da produção de cimento a partir de dados de crescimento ou decréscimo do PIB.

A indústria de cimento tem contribuído com o crescimento do país sendo uma das principais produtoras de cimento do mundo. Em 2016, o Brasil foi o sexto maior produtor de cimento e o oitavo mercado consumidor (SNIC, 2019). Ao se analisar a produção histórica brasileira, é possível inferir que a partir dos anos 70 a indústria de

cimento teve um aumento considerável com o advento do milagre econômico. A década de 80 cimento representou uma estagnação para o setor cimenteiro, enquanto na década de 90 o mercado voltou a apresentar crescimento.

Entre os anos de 2000 e 2002 houve uma crise no setor de construção civil que resultou em um declínio da produção, entretanto, a partir de 2003 até 2014 foi onde a produção de cimento atingiu o seu maior crescimento e de acordo com SNIC (2019), a maior produção de cimento no País foi no ano de 2014, alcançando 72 milhões de toneladas produzidas. Esse valor foi atingido através de obras de infraestrutura, quedas de juros e expansão do crédito imobiliário.

Recentemente entre os anos de 2015 e 2018, o Brasil enfrentou uma crise político-econômica que resultou em uma baixa da produção acumulada de cimento em 25% nesse período (SNIC, 2019). A partir do ano de 2019, houve uma recuperação do setor em virtude de um ambiente macroeconômico positivo e aquecimento do mercado imobiliário. Em 2020, apesar de ser um ano de incertezas decorrentes da pandemia causada pelo COVID-19, o setor apresentou um aumento da produção em comparação ao ano de 2019 de aproximadamente 11% em virtude do aumento no lançamento de obras imobiliárias, auxílio emergencial e a autoconstrução (ABCP, 2020). O Gráfico 1, apresenta a variação da produção de cimento ao longo dos últimos anos.

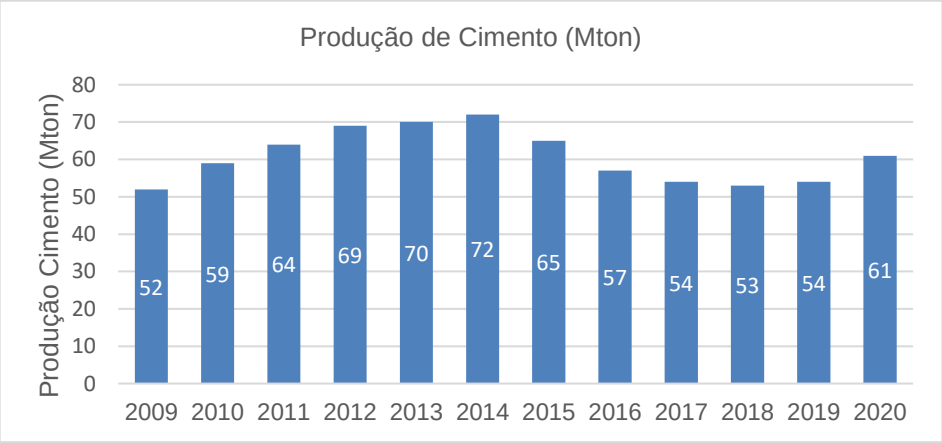


Gráfico 1 - Produção de cimento no Brasil em milhões de toneladas
Fonte: SNIC (2021a)

O consumo de cimento pela população brasileira (260 Kg/habitante) encontra-se abaixo da média mundial (553 Kg/habitante) (SNIC, 2019). Considerando o alto índice de déficit habitacional, potencial investimento em obras de infraestrutura (principalmente pavimentação de concreto) e saneamento básico, são considerados

indutores importantes para o aumento do consumo da produção de cimento no Brasil. O Gráfico 2, ilustra a diferença de consumo média do brasileiro em comparação com o mundo e sua projeção até 2050, considerando previsão de alta e baixa demanda.

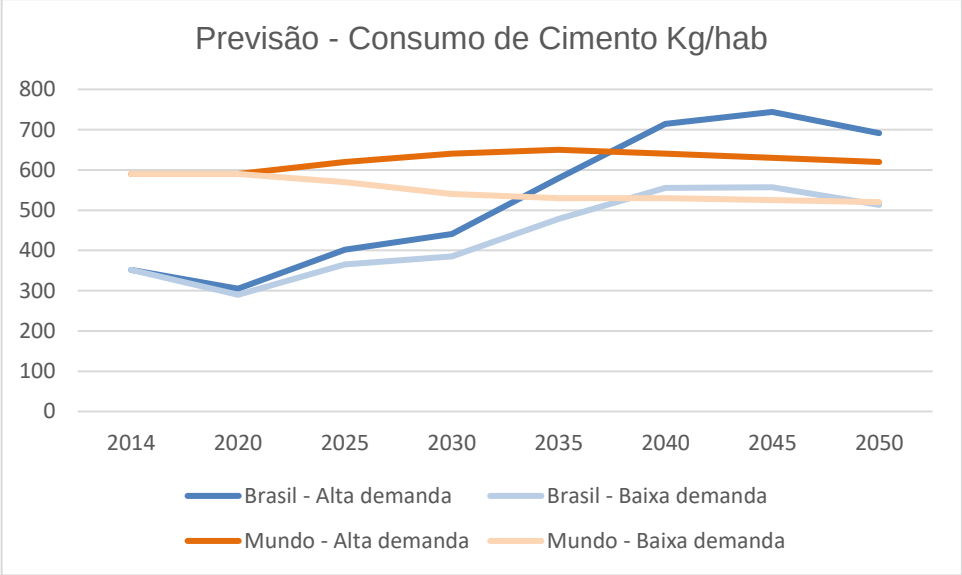


Gráfico 2 - Previsão de consumo de cimento por habitante
Fonte: SNIC (2019)

Atualmente, o País possui 100 fábricas de cimento, presentes em 88 cidades, sendo 62 de usinas integradas e 38 de moagens. De maneira geral, as plantas de cimento pertencem a grandes grupos corporativos nacionais ou internacionais. De acordo com Da Silva (2012), as fábricas de cimento devem possuir grande aporte financeiro para sua viabilização o que dificulta a atração de empresas de pequeno porte pelo mercado.

O material de cimento, por ser um material perecível, possui produção e centros de distribuição em todas as regiões do País. Dessa maneira, o cimento é conhecido por ser um material com baixo volume de exportação e majoritariamente consumido pelo mercado interno. De acordo com Santos (2010), nos primeiros anos do século XXI o volume exportação média do mercado mundial de cimento correspondeu a 7%.

A localização de fábricas de cimento é influenciada também pelas matérias primas como calcário, principal material prima do cimento, portanto plantas de produção de cimento situam-se próximas a jazidas de matérias primas com objetivo de redução de custo de transporte. O custo de transporte, após produção do material da fábrica ao consumidor, também é relevante para indústria do cimento. Segundo

Gomes *et. al.* (1997) a área viável de alcance econômico do transporte de cimento situa-se em 300 quilômetros da fábrica. Dessa maneira a localização das plantas de produção de cimento devem situar-se próximas a regiões de alta demanda pelo material destacando as regiões Sudeste e Nordeste. A localização das fábricas de cimento distribuídas pelo Brasil está presente na Figura 7.

Figura 7 - Localização das fábricas de cimento
Fonte: SNIC (2019).

2.5.3 Mercado de Cimento Região Nordeste

Segundo estudo conduzido pelo SNIC (2019), o Nordeste é a segunda região com maior capacidade de produção de cimento representando cerca de 22% do volume total brasileiro. Ainda segundo o mesmo estudo conduzido pela Sindicato Nacional da Indústria de Cimento, existe previsão de crescimento da participação do mercado da região Nordeste para 30% da produção em 2050. De acordo com ABCP (2021), a região possui 15 grupos que operam 26 fábricas de cimento, sendo 13 de moagens e 13 fábricas integradas divididos em 8 estados.

A região nordeste é a região que proporciona o maior volume de exportação de cimento com cerca de 8% do total produzido na região. Essa região é atrativa para investimentos estrangeiros porque possui recursos de matérias primas como calcário e gipsita, infraestrutura das fábricas próximas aos portos de exportação e posição geográfica da região que proporciona custos menores de transporte marítimo com destino aos Estados Unidos e África (SANTOS, 2010).

2.6 Refratários

Os materiais refratários são materiais cerâmicos cuja principal característica é a resistência à elevadas temperaturas nas condições específicas de cada processo produtivo. Além da resistência térmica, o refratário ainda fornece resistência a condições severas de desgaste químico e mecânico (ABCERAM, s.d). Os refratários são materiais fundamentais para proteção e consequente operação de diversas atividades industriais que utilizam altas temperaturas em seus processos produtivos, como a indústria de cimento, siderúrgica e vidro.

Os materiais refratários podem ser classificados de duas formas. A primeira classificação é de acordo com sua composição química: podendo ser básicos (Magnésia, Dolomita, Magnésia Cromita), neutros (Cromita) e ácidos (Sílica, Sílico-Aluminoso, Zirconita, Carbeto de Silício, Aluminoso). A segunda classificação refere-se a sua forma física, podendo ser divididos em moldados (tijolos ou peças especiais) ou não moldados (argamassas, cimentos, massas de projeção).

O processo produtivo dos diferentes tipos de refratários possui um padrão. Para os materiais moldados ou formatos especiais, a matéria prima é britada (caso a granulometria seja maior que 50 mm) e são selecionados frações entre (3-5) mm, (1-3) mm e (0-1) mm e finos. Os diferentes tamanhos de frações são misturados e prensados. O material posteriormente é seco para redução da umidade interna e queimado em uma temperatura entre (1150-1750ºC) para que o material atinja as propriedades desejadas (SENGUPTA, 2020). Para os refratários não moldados a matéria-prima é britada, posteriormente ocorre a moagem do material e classificação. O material então é misturado com aditivos, testado e embalado para despacho. A Figura 8 e Figura 9 demonstram o fluxograma do processo de produção de refratários descrito acima.

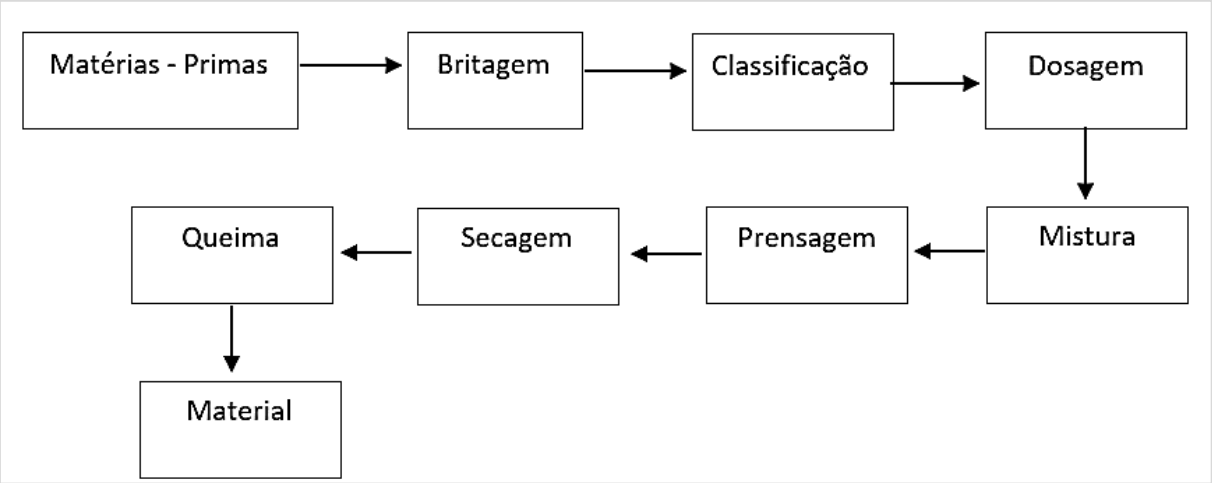


Figura 8 – Fluxograma produção de materiais moldados
Fonte: Adaptado de SENGUPTA (2020).

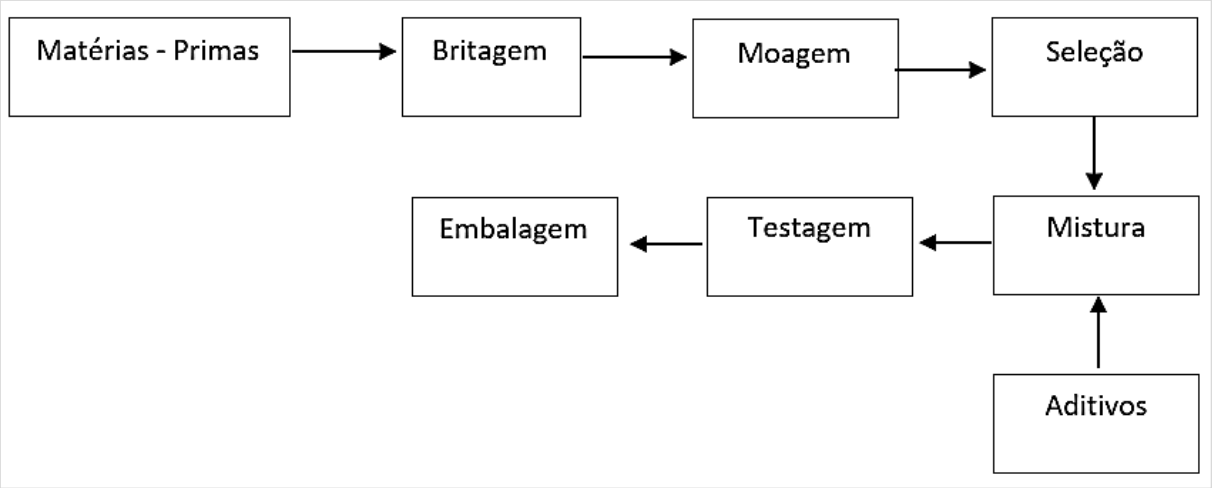


Figura 9 – Fluxograma produção de materiais refratários não moldados
Fonte: Adaptado de SENGUPTA (2020).

Os materiais moldados, por terem geometria definida, já estão prontos para serem utilizados no processo produtivo, enquanto os materiais não moldados, devem ser misturados com água ou aditivos químicos para obtenção de um material refratário. Materiais refratários devem sempre ser mantidos em um ambiente coberto para que os tijolos não fiquem expostos a umidade, especialmente tijolos básicos e monolíticos.

2.6.1 Refratários processo produtivo de cimento

Materiais refratários são utilizados no processo produtivo de cimento em regiões onde o aumento de temperatura pode ocasionar danificação nos

equipamentos de produção. Os materiais refratários são utilizados no resfriador, forno rotativo, pré-aquecedor e calcinador (VDZ, 2018). A Figura 10, apresenta a localização dos materiais refratários no processo produtivo de cimento e a temperatura atingida em cada etapa.

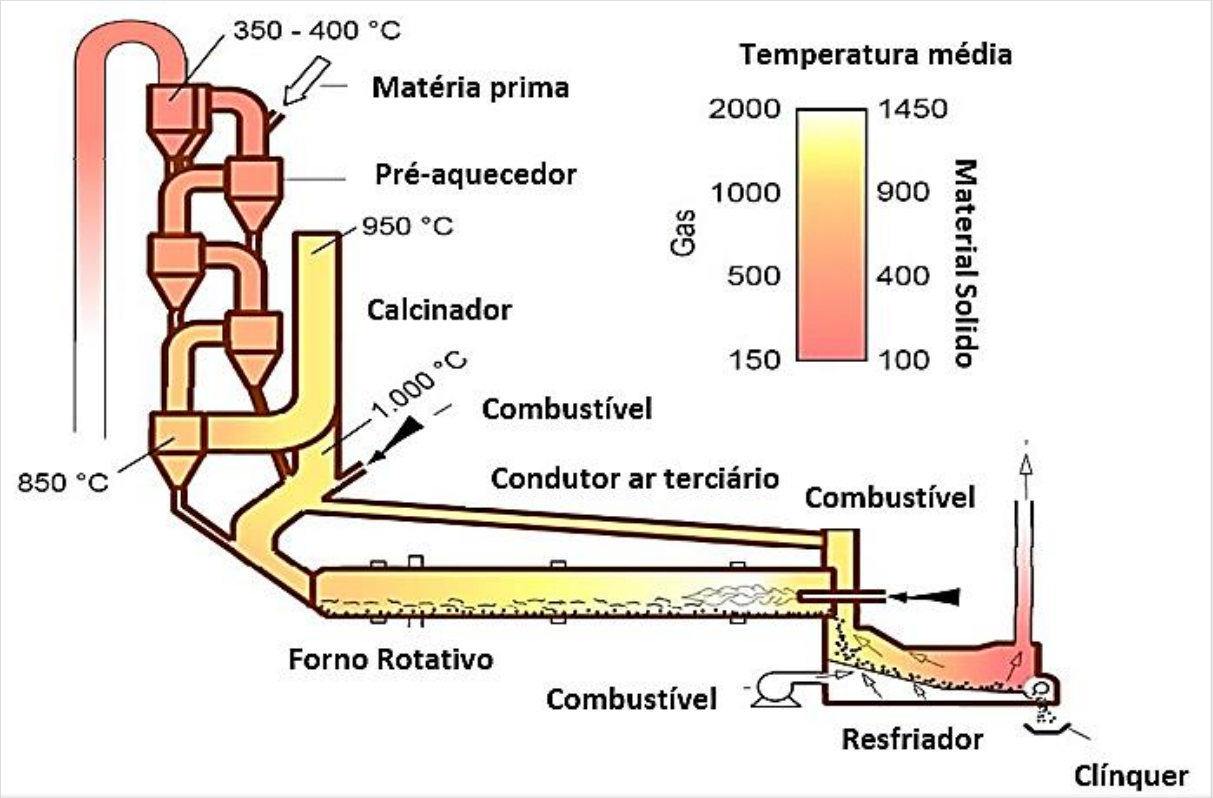


Figura 10 – Localização de materiais refratários na produção de cimento
Fonte: VDZ (2018). (Editado pelo autor).

A decisão dos diferentes materiais refratários a serem utilizadas é feita de acordo com a condição operacional de cada equipamento descrito acima. O forno rotativo é a parte mais crítica de uma indústria de cimento, tendo em vista que é onde ocorre a formação do clínquer. O forno possuí formato de um tubo horizontal, com uma pequena inclinação transversal. Além disso, o forno possui um comprimento entre 50 e 100 metros e diâmetro entre 3 e 7 metros, rotacionando a uma velocidade entre 1.5 e 4 rotações por minuto. Os materiais refratários desempenham duas funções no forno rotativo principais, proteção contra a alta temperatura e proteção contra infiltração de gases corrosivos e líquidos prejudiciais a estrutura metálica do forno (SENGUPTA, 2020).

O forno rotativo é subdivido em 6 regiões: zona de calcinação, zona de segurança, zona de queima, zona de transição superior, zona de transição inferior e

zona de resfriamento. A zona de calcinação é localizada na entrada do forno e é a região onde a farinha está com temperatura entre 900-1000ºC, nessa região é finalizada a descarbonatação que iniciou-se nos ciclones. Na zona de transição superior do forno a temperatura pode atingir 1200ºC e é uma região que ocorre grande infiltração de voláteis e instabilidade de colagem e onde começa ocorrer a formação do clínquer.

Na zona de queima do forno rotativo é onde ocorre a temperatura atinge entre 1.400 ºC e 1.500 ºC. Na zona de transição inferior o clínquer já formado, começa a ser resfriado, mas ainda pode ocorrer formação de colagem. Na zona de resfriamento, é a última região do forno rotativo antes do contato com o resfriador e onde existe atrito com o clínquer já formado. A Figura 11, ilustra as diferentes regiões do forno rotativo descritos acima de maneira simplificada.

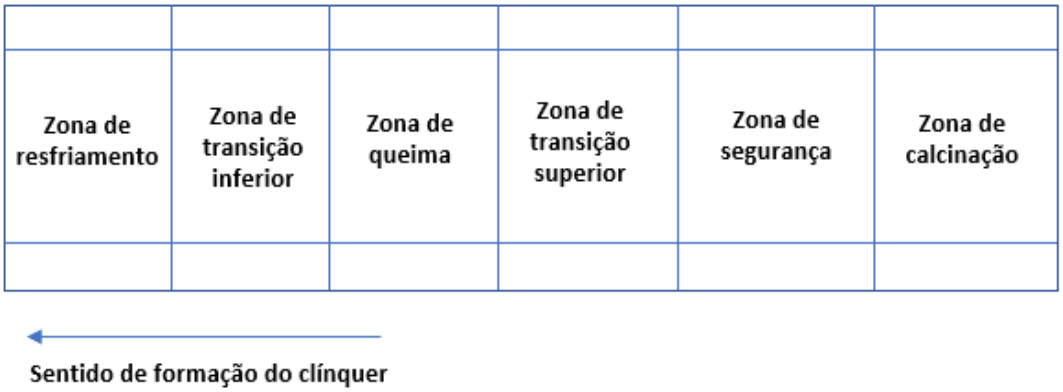


Figura 11 – Regiões do forno rotativo
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

2.6.2 Mecanismos de desgastes de materiais refratários

Os materiais refratários estão constantemente submetidos a processos de desgastes durante a campanha do forno, ou seja, durante seu período de operação. Portanto, esses materiais precisam ser substituídos quando uma espessura mínima é atingida (VDZ, 2018).

No processo produtivo de cimento existem três mecanismos de desgastes principais que interferem na performance de refratários e, portanto, interferem na vida útil do material: químico, térmico e mecânico. De acordo com De Oliveira Teixeira (2016), de maneira geral durante o processo produtivo de cimento, a performance dos

refratários é normalmente impactada pela combinação de dois ou mais mecanismos de desgaste. O desgaste mecânico refere-se ao excesso de ovalização do forno rotativo, desalinhamento do material instalado e expansão ou contração do material junto com a estrutura do forno. O desgaste térmico refere-se as altas variações de temperaturas de operação, superaquecimento e posição da chama no forno rotativo. Por fim, o desgaste químico, refere-se à infiltração de álcalis nos refratários.

3 METODOLOGIA

O capítulo três tem como finalidade apresentar os métodos de pesquisa que serão utilizados no estudo com o propósito de atingir os objetivos elencados na introdução do trabalho. Portanto, serão apresentadas as justificativas da escolha dos métodos, assim como as etapas de aplicação da metodologia.

3.1 Caracterização do estudo

Segundo Prodanov e de Freitas (2013) a metodologia da pesquisa cientifica pode ser classificada nos seguintes critérios: natureza, objetivo do estudo, abordagem e procedimentos técnico.

Em relação a natureza o presente trabalho é considerado de natureza aplicada, porque caracteriza-se pela aplicação prática, na resolução de problemas reais. Quanto ao objetivo do estudo, possui característica exploratória, pois visa gerar conhecimento de um tema ainda pouco explorado na literatura cientifica. Em relação a abordagem, o trabalho caracteriza-se por ser qualitativo e quantitativo, pois faz uso do levamento de informações encontradas na literatura acadêmica, interpretação e análise do pesquisador, assim como uso de recursos e técnicas de matemática e estatística. Por fim, ao analisar o estudo sobre o critério de procedimento técnico, o trabalho caracteriza-se por ser estudo de caso, pois visa compreender uma situação real.

3.2 Justificativa dos métodos

Através de pesquisa na literatura foi possível constatar que existem diversos métodos de análise para resolução de problemas de localização de centro de distribuição, conforme citado no capítulo 2 desse estudo. Portanto, após análises da literatura e de acordo com os objetivos elencados no início trabalho, os seguintes métodos foram considerados como melhores opções para o presente estudo:

- Método do centro de gravidade;
- Método de localização de facilidades capacitado;
- Método de análise multicritério.

A aplicação do primeiro método, centro de gravidade, justifica-se pela disponibilidade de dados e por permitir a resolução do problema através de uma análise quantitativa simplificada, gerando valores aproximados. Os dados referentes ao volume de demanda, custo de transporte e localização geográfica dos pontos de demanda são passíveis de serem coletados ou mensurados. A aplicação do método permite a determinação da coordenada geográfica com menor custo de transporte.

O segundo método, localização de facilidades capacitado, justifica-se também pela disponibilidade dos dados e pelo fornecimento de uma análise quantitativa mais detalhada. Assim como o método de centro de gravidade, dados referentes a localização, demanda e custo de transporte são necessários para aplicação, entretanto, o custo fixo da instalação das facilidades é considerado no método. Dessa maneira, o método de facilidades capacitado determina a localização de um ou mais centros de distribuição com os menores custos de transporte e de instalação da facilidade. O método também permite escolher mais de um centro de distribuição, a depender das restrições de capacidade e demanda.

A escolha do terceiro método, análise multicritério, justifica-se pelo fato que existem inúmeros fatores que devam ser considerados em um problema de localização. O método selecionado dentro da análise multicritério foi o AHP (*Analytical Hierarchy Process* – Processo de Análise Hierárquica) que se baseia na construção de um modelo de avaliação baseado em pesos. Segundo Cakmak e Cakmak (2013) o método AHP auxilia o estabelecimento de prioridades ao estruturar o problema de forma hierárquica e auxilia na tomada de decisão ao utilizar aspectos quantitativos e qualitativos. Dessa maneira, o método simplifica problemas complexos através de sua estrutura hierárquica.

Através de pesquisa na literatura foi possível constatar que método AHP é um dos métodos mais utilizados para avaliar um conjunto de alternativas. Em problemas de localização, diversos são os critérios utilizados para a tomada de decisão. Dessa maneira, todos os critérios relevantes para uma análise holística do problema são considerados nesta metodologia.

É importante destacar que até o momento da escrita deste trabalho, não foram identificadas referências que fizessem o uso das três metodologias ao mesmo tempo, o que traz mais uma contribuição do presente estudo para com a literatura no tema.

3.2 Etapas da pesquisa

O estudo foi dividido em quatro etapas principais sequenciais: revisão da literatura, coleta de dados, aplicação dos métodos e análise dos resultados. A Figura 12 a seguir ilustra as etapas do trabalho.

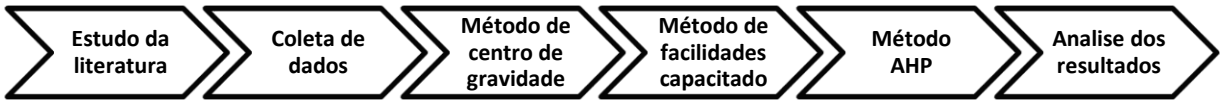


Figura 12 - Etapas da pesquisa
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A primeira etapa consistiu na revisão da literatura, com objetivo de compreender temas referentes a logística e localização de facilidades. Posteriormente, foi realizado um estudo a respeito dos métodos já aplicados para determinação da localização de centros de distribuição.

A segunda etapa refere-se a coleta de informações para cálculos da localização de centro de distribuição que serão utilizados no estudo. Para aplicação do método de centro de gravidade e localização de facilidades, foram consultados dados de coordenadas geográficas, custo de transporte e demanda de refratário. As coordenadas geográficas foram consultadas através do acesso a página *web* do Sindicato Nacional das Indústrias de Cimento e SIG (Sistemas de Informações Geográficas). De acordo com Dantas *et al*. (1996), SIG é um sistema que opera de maneira sistêmica a partir de conjunto de informações e tecnologias com o objetivo de utilizar dados georreferenciáveis para conseguir novas informações. Além disso, o SIG desempenha uma função importante em logística, que consiste no auxílio nas tomadas de decisão que envolvem problemas de localização (SALGADO *et al*., 2019). Posteriormente, os dados de produção de cimento por planta foram coletados através de um relatório global de plantas de cimento, com objetivo de calcular a demanda de refratários através do consumo específico.

Para aplicação do método de localização de facilidades, são necessários informações similares ao método de centro de gravidade. No entanto, dados adicionais como, custo de locação por metro quadrado de cada cidade, foram consultados através de pesquisa a *internet*.

Por fim, para coleta das informações relacionadas ao método AHP foi conduzida uma entrevista com um especialista da área de refratários e cimento para definição dos critérios visando simplificar a análise e por restrições de tempo e recurso do trabalho. Dessa maneira, o método de análise multicritério auxilia o processo de tomada de decisão ao considerar fatores qualitativos.

Os dados coletados na segunda etapa foram organizados em planilhas do *software Microsoft Excel*. Portanto, neste *software,* todas as análises matemáticas foram conduzidas baseadas nos métodos selecionados para esse estudo. O *software* de Sistema de Informações Geográficas utilizado foi o *Google Earth.*

A terceira etapa consistiu na aplicação efetiva dos métodos selecionados. A última etapa caracterizou-se pela consolidação e análise dos resultados obtidos. Por fim, foi realizada uma discussão a respeito do potencial contribuição destes resultados com os futuros estudos de otimização da localização de centros de distribuição.

4 ANÁLISE DE DADOS

No presente capítulo serão apresentados os dados contendo as informações necessárias para aplicação dos métodos selecionados neste trabalho. Inicialmente, o capítulo tem como objetivo analisar a região Nordeste assim como apresentar os critérios, premissas e comentários a respeito da coleta e análise dos dados.

4.1 Área de estudo

A região objeto deste estudo é formada pelo conjunto de estados da região Nordeste do Brasil. Essa região é a terceira em dimensão territorial no País, sendo que as duas primeiras são as regiões Norte e Centro-Oeste. A região ocupa aproximadamente 20% do território nacional, sendo divididos em 1.800 cidades e 9 estados: Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Norte e Sergipe (BACELLAR; NALI, 2014).

A Região Nordeste foi escolhida como ponto central deste estudo por dois motivos principais:

- Importante participação no mercado de cimento do Brasil;
- Não há produção própria de material refratário na região.

4.2 Coleta de dados

Neste subcapítulo são apresentadas as etapas de coletas dos dados de cada método, com intuito de obter a localização otimizada do centro de distribuição de refratários na região Nordeste.

As equações matemáticas aplicadas nos métodos de centro de gravidade, localização de facilidades capacitado e AHP, estão nos Apêndices do presente trabalho.

4.2.1 Coleta de dados do método de centro de gravidade

Ao analisar as Equações de número 2 a 4, observa-se a necessidade de três informações:

1. Demanda das plantas de cimento;
2. Custo de frete;
3. Distâncias.

Conforme mencionado no Capítulo 1 de introdução do presente trabalho, algumas premissas foram adotadas para delimitar quais pontos de demanda seriam incluídos na análise. Para analisar a demanda de refratários, foram consideradas as seguintes premissas:

- Fábricas de cimento que produzem clínquer. Assim, plantas que possuem apenas moagem no processo produtivo, foram excluídas da análise, uma vez que não demandam materiais refratários;
- Plantas de produção de clínquer que não se encontram em operação há muitos anos e não possuem perspectiva de retorno a curto prazo foram excluídas da análise. No entanto, em virtude da dinâmica do mercado de cimento, plantas que podem ser reativadas em curto prazo, foram incluídas na análise, além das plantas já em operação no ano de 2021.

Dessa maneira, na Região Nordeste, foram identificadas plantas de cimentos de produção de clínquer em operação em 2021 ou que possuem a possibilidade de retornar em curto prazo, em 8 estados diferentes e 14 cidades distintas. As informações foram consultadas no relatório do *Global Cement* (2022). O estado da Paraíba é o que possui o maior número de fábricas de cimento com base nas premissas adotadas neste presente estudo (4 fábricas). As plantas que atendem as premissas citadas acima, são encontradas no Quadro 2, abaixo.

Quadro 2 - Plantas de cimento - Região Nordeste

Estado	**Cidade**	**Grupo**
Alagoas	São Miguel dos Campos	Intercement
Bahia	Campo Formoso	Intercement
Ceará	Sobral	Votorantim
Ceará	Quixeré	Apodi
Maranhão	Codó	João Santos
Paraíba	João Pessoa	Intercement
Paraíba	Caaporã	Lafarge Holcim

Paraíba	Pitimbu	Brennnand
Paraíba	Alhandra	Elizabeth
Piauí	Fronteiras	João Santos
Rio Grande do Norte	Mossoró	João Santos
Rio Grande do Norte	Baraúna	Mizu
Sergipe	Laranjeiras	Votorantim
Sergipe	Pacatuba	Mizu

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

As plantas de cimento, assim como sua localização podem ser observadas na Figura 13.

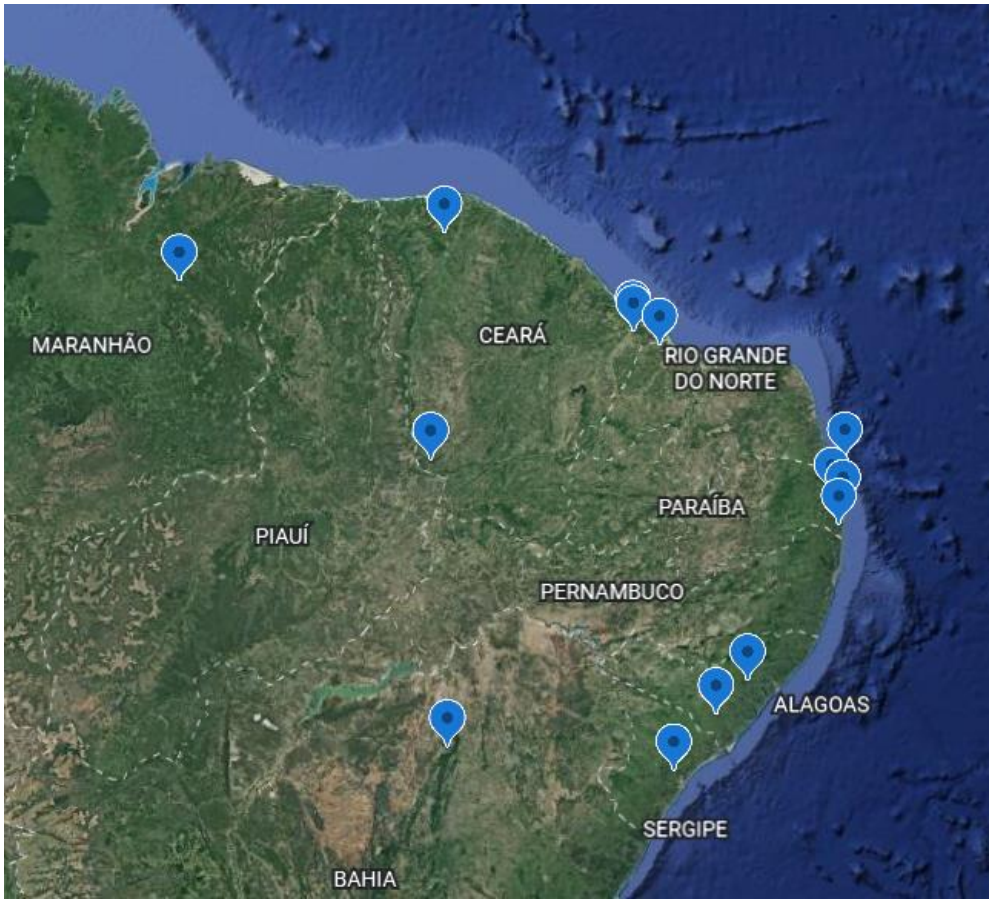


Figura 13 - Plantas de cimento Região Nordeste
Fonte: Adaptado de SNIC (2021b).

Os dados da demanda anual de refratários de cada planta foram calculados a partir das informações coletadas da capacidade de cada planta de produção de cimento. Foram utilizados dados do relatório *Global Cement* (2022). Dessa maneira,

a partir da capacidade de produção de cada planta, foi utilizado um fator de conversão para demanda de refratários em toneladas.

A distância é outro parâmetro necessário para cálculo do método. Dessa maneira, as coordenadas foram coletadas através do *Google Earth* e posteriormente realizado o cálculo descrito na Equação 4 para determinar a distância. Além disso, para conversão da distância em quilômetros, foi adotado um valor aproximado k de 111,12 (CREF, 2021).

O custo de transporte é o único custo utilizado pelo método de centro de gravidade. Os dados do custo foram calculados adotando algumas premissas como capacidade do caminhão, custo por Km e tipo de carga a ser transportada. A capacidade do caminhão adotada foi de 33 toneladas de 4 eixos. O valor do frete por quilometro, assim como o preço da carga e descarga foram consultados na página *web* do DOU (2021).

4.2.2 Coleta de dados do método de localização de facilidades capacitado

Para análise do método de localização de facilidades capacitado foram escolhidos cinco potenciais centros de distribuição já existentes nas capitais dos cinco estados com maiores demanda de refratários para o mercado de cimento. Os estados com maior demanda de refratários são: Paraíba, Sergipe, Ceará, Rio Grande do Norte e Bahia. Portanto, as cidades escolhidas como potenciais centros de distribuição foram: João Pessoa, Aracaju, Fortaleza, Natal e Salvador.

Como o método utiliza como restrição a demanda de refratários de cada cimenteira, as informações referentes a demanda de refratários foram calculadas de acordo com as mesmas premissas adotadas no método de centro de gravidade.

Em relação a coleta dos dados referentes aos custos do método de localização de facilidades capacitado, dois custos devem ser analisados. O primeiro é o custo de transporte e o segundo o custo de instalação da facilidade. Para o custo de transporte foi utilizado a mesma premissa do método de centro de gravidade, enquanto, para custo de instalação a premissa adotada foi que o valor corresponderia ao custo da locação do potencial centro de distribuição. As informações referentes aos dados de custo de instalação da facilidade, foram obtidas através de consultas a anúncios na *internet* dos próprios CD´s ou centros de distribuição. Os valores obtidos no momento

de realização da pesquisa podem ser consultados nos Apêndices. Para o tamanho do centro de distribuição, adotou-se o valor de 2.000 metros quadrados.

4.2.3 Coleta de dados do método *AHP*

A fim de calcular o método AHP, foram selecionados três critérios e duas alternativas. As cidades escolhidas como alternativas no método, foram as duas cidades que apresentaram o menor custo total (instalação e transporte) no método de localização de facilidades capacitado.

Os critérios selecionados foram custo, umidade relativa do ar na região e proximidade a portos. O custo foi escolhido por ser um dos fatores que mais influenciam as empresas a determinar a localização ótima de CDs encontrados no referencial teórico.

A umidade foi escolhida como critério, uma vez que influencia na vida útil do material refratário. Portanto, regiões úmidas devem ser evitadas, uma vez que materiais básicos reagem com a umidade do ar durante a armazenagem, ocasionando hidratação do material. Dessa maneira, ao reagir com água, o material aumenta seu volume, causando quebras no tijolo refratário.

Por fim, o aspecto da infraestrutura, representado pela proximidade a portos foi considerado como critério, tendo em vista que determinados materiais refratários podem ser importados, apesar da maior quantidade desse material ser produzida no Brasil.

5 RESULTADOS

Este capítulo tem como objetivo apresentar os resultados dos métodos de centro de gravidade, localização de facilidades capacitado e *AHP*. Os dados completos assim como as fórmulas matemáticas utilizadas em cada método estão disponíveis nos apêndices A, B, C, D, E e F. Todos os arquivos presentes nos apêndices estão disponíveis no repositório pessoal do autor no *Google Drive* (2022).

5.1 Resultados do método de centro de gravidade

Após a identificação das fábricas de acordo com as premissas mencionadas no capítulo 4, a ferramenta do *Google Earth* foi utilizada para obter a localização geográfica de cada planta. O Quadro 3 apresenta as coordenadas geográficas de latitude (X) e longitude (Y) de cada planta de cimento.

Quadro 3 - Coordenadas plantas de cimento

Estado	Cidade	Grupo	X	Y
Alagoas	São Miguel dos Campos	Intercement	-9,76º	-36,15º
Bahia	Campo Formoso	Intercement	-10,52º	-40,33º
Ceara	Sobral	Votorantim	-3,69º	-40,37º
Ceara	Quixeré	Apodi	-5,04º	-37,78º
Maranhão	Codó	João Santos	-4,52º	-44,04º
Paraíba	João Pessoa	Intercement	-7,13º	-34,90º
Paraíba	Caaporã	Lafarge Holcim	-7,52º	-34,87º
Paraíba	Pitimbu	Brennnand	-7,48º	-34,84º
Paraíba	Alhandra	Elizabeth	-7,37º	-34,89º
Piauí	Fronteiras	João Santos	-6,95º	-40,52º
Rio Grande do Norte	Mossoró	João Santos	-5,20º	-37,39º
Rio Grande do Norte	Baraúna	Mizu	-5,07º	-37,71º
Sergipe	Laranjeiras	Votorantim	-10,83º	-37,16º
Sergipe	Pacatuba	Mizu	-10,41º	-36,70º

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Após a identificação das coordenadas geográficas de cada planta, foram coletadas as informações referentes as capacidades de cada unidade em milhões de

toneladas anuais. Posteriormente, um fator de conversão foi utilizado para determinação da demanda de refratários anual aproximada. O valor do fator de conversão utilizado foi de 0,5. A fórmula de conversão, assim como a Tabela 3 com demanda de refratários e capacidade de produção de cada planta, podem ser encontradas a seguir:

$$DR = CP * Fator * 1000 \quad (14)$$

Onde:

- DR = Demanda de refratários em toneladas anual;
- CP = Capacidade de produção de cimento em milhões de toneladas;
- Fator = Fator de conversão = 0,5.

Tabela 3 - Demanda de refratários

Estado	Cidade	Grupo	Capacidade (Mton)	Demanda Refratário (t)
Alagoas	São Miguel dos Campos	Intercement	0,9	450
Bahia	Campo Formoso	Intercement	1,2	600
Ceará	Sobral	Votorantim	1,0	500
Ceará	Quixeré	Apodi	1,5	750
Maranhão	Codó	João Santos	0,2	100
Paraíba	João Pessoa	Intercement	1,0	500
Paraíba	Caaporã	Lafarge Holcim	1,4	700
Paraíba	Pitimbu	Brennnand	1,5	750
Paraíba	Alhandra	Elizabeth	1,2	600
Piauí	Fronteiras	João Santos	0,9	450
Rio Grande do Norte	Mossoró	João Santos	0,3	150
Rio Grande do Norte	Baraúna	Mizu	1,1	550
Sergipe	Laranjeiras	Votorantim	2,8	1.400
Sergipe	Pacatuba	Mizu	0,4	200

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

A demanda total de refratários para a Região Nordeste é de aproximadamente 7.700 toneladas ao ano de acordo com as premissas adotadas para o estudo. Dessa maneira, considera-se que apenas 1 centro de distribuição seja necessário para receber o volume total anual visto que o custo para instalação de 1 CD foi a melhor opção encontrada no método de localização de facilidades capacitado.

Para cálculo do custo de transporte, utiliza-se na resolução do presente problema a taxa de R$ 3,13125 por Km rodado. O valor do frete de transporte foi calculado de acordo com a tabela de frete do ano de 2021, considerando transporte de carga geral, caminhão de 4 eixos com capacidade para 33 toneladas.

Após encontrar a demanda de refratários foi calculado o número de viagens ao ano necessário para transporte de refratário. O valor da demanda foi dividido para capacidade de cada caminhão de 33 toneladas. Considerando que todos os caminhões operem com a capacidade máxima, tem-se o seguinte número de viagens ao ano na Tabela 4.

Tabela 4 - Número de viagens ao ano

Estado	Cidade	Grupo	Número de Viagens
Alagoas	São Miguel dos Campos	Intercement	14
Bahia	Campo Formoso	Intercement	19
Ceará	Sobral	Votorantim	16
Ceará	Quixeré	Apodi	23
Maranhão	Codó	João Santos	4
Paraíba	João Pessoa	Intercement	16
Paraíba	Caaporã	Lafarge Holcim	22
Paraíba	Pitimbu	Brennnand	23
Paraíba	Alhandra	Elizabeth	19
Piauí	Fronteiras	João Santos	14
Rio Grande do Norte	Mossoró	João Santos	5
Rio Grande do Norte	Baraúna	Mizu	17
Sergipe	Laranjeiras	Votorantim	43
Sergipe	Pacatuba	Mizu	7

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Para aplicação do método de centro de gravidade, inicialmente definiu-se o fator de conversão K para cálculo da distância em quilômetros. O valor utilizado foi de 111,12 (CREF, 2021). Assim, após a estruturação do problema, foi utilizado a ferramenta *solver* do *Excel* para cálculo do custo mínimo de transporte. O método de cálculo interno utilizado foi o GRG Não linear.

Dessa maneira, a partir das equações de cálculo do modelo de centro de gravidade, foram encontradas as coordenadas geográficas de latitude (X) e longitude

(Y) que atendem o objetivo de minimizar o custo de transporte, sendo elas X= -7,727473469º e Y=-36, 28706555º.

A Tabela 6 - Distâncias dos CD´s até as plantas de cimento apresenta a distância obtida, através da Equação **04**, entre o centro de distribuição encontrado no processo de otimização realizado e cada planta produtora de cimento.

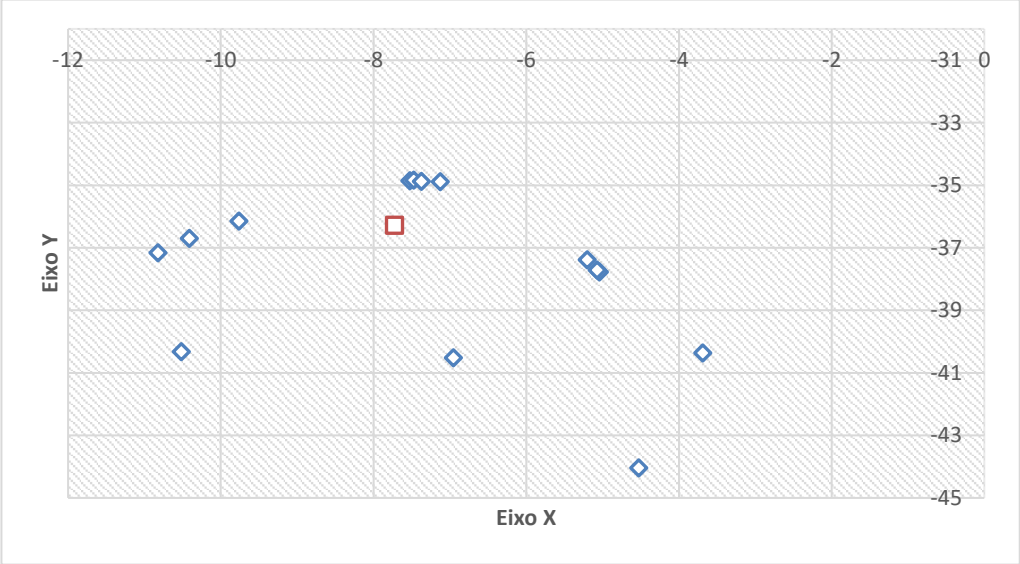
Tabela 5 - Distâncias das plantas de cimento ao centro de distribuição

Estado	**Cidade**	**Grupo**	**Distância Km**
Alagoas	São Miguel dos Campos	Intercement	227
Bahia	Campo Formoso	Intercement	546
Ceara	Sobral	Votorantim	638
Ceara	Quixeré	Apodi	341
Maranhão	Codó	João Santos	932
Paraíba	João Pessoa	Intercement	168
Paraíba	Caaporã	Lafarge Holcim	160
Paraíba	Pitimbu	Brennnand	163
Paraíba	Alhandra	Elizabeth	161
Piauí	Fronteiras	João Santos	478
Rio Grande do Norte	Mossoró	João Santos	306
Rio Grande do Norte	Baraúna	Mizu	335
Sergipe	Laranjeiras	Votorantim	358
Sergipe	Pacatuba	Mizu	302

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

A Figura 14, apresenta a localização encontrada do centro de distribuição em conjunto com os pontos de demanda. O ponto em vermelho refere-se ao centro de distribuição, enquanto, os pontos em azul são as plantas de cimento.

Figura 14 - Localização do centro de distribuição



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Ao plotar as coordenadas geográficas do centro de distribuição no *Google Earth*, foi constado que a localização otimizada calculada pelo método de centro de gravidade encontra-se no Município de Barra de São Miguel. A cidade está localizada na região no estado de Paraíba. De acordo com o IBGE (2022), a cidade possui área total de 609,697 km² e população estimada em 6.095 pessoas. A principal via de acesso é pela rodovia PB-160. Na Figura 15 é possível identificar a localização geográfica de cada planta (pontos em azul) assim como o centro de distribuição (ponto em vermelho).

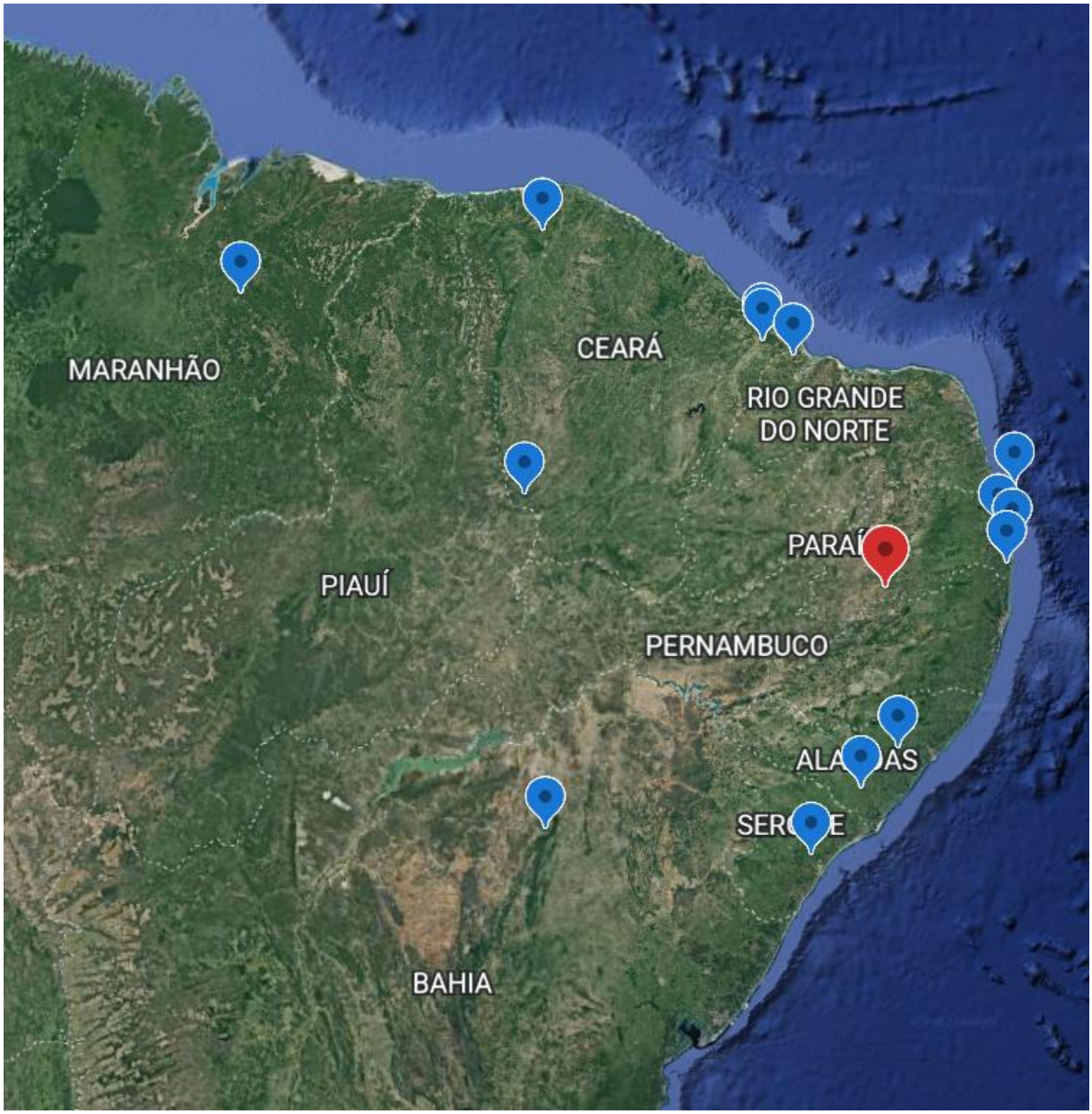


Figura 15 - Localização do centro de distribuição
Fonte: Google Earth (2022a).

Na Figura 16 é possível observar que a localização otimizada apontada pelo método se encontra perto da principal rodovia PB-160. A localização do centro de distribuição encontra-se a aproximadamente 4 quilômetros do centro da cidade.

Figura 16 - Localização método centro de gravidade
Fonte: Google Earth (2022a).

O custo de transporte calculado pelo *software* foi de R$ 249.734,28. Foram também incluídos no modelo o custo de carga e descarga para cada viagem. Portanto, o custo total anual de transporte é de R$ 313.092,30. Neste método não foram considerados os custos de construção ou locação do centro de distribuição.

5.2 Resultados do método de localização de facilidades capacitado

Após a identificação dos potenciais centros de distribuição (atualmente galpões) já existentes nas capitais dos estados com maior demanda de refratários, a ferramenta do *Google Earth* foi utilizada para obter a localização geográfica de cada potencial centro de distribuição. O Quadro 4 apresenta as coordenadas geográficas X e Y de cada CD. As cidades podem ser visualizadas na Figura 17.

Quadro 4 – Localização dos CD´s

Cidade	X	Y
João Pessoa	-7,27º	-34,93º
Aracaju	-10,91º	-37,13º

Fortaleza	-3,87º	-38,51º
Natal	-5,89º	-35,28º
Salvador	-12,91º	-38,46º

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Figura 17 - Potenciais CDs
Fonte: Google Earth (2022b).

Posteriormente a identificação da localização dos CD'S foi calculado a distância de cada CD até cada planta de cimento. Os dados da localização das plantas de cimento foram as mesmas do método do centro de gravidade. Inicialmente definiu-se o fator de conversão K para cálculo da distância em quilômetros. O valor utilizado foi de 111,12. O *software* Excel foi utilizado para cálculo da distância a partir da equação

de número 4 descrita no capítulo 2. A Tabela 6 - Distâncias dos CD´s até as plantas de cimento ilustra a distância de cada centro de distribuição à planta de cimento. A número das cidades encontra-se no Quadro 5.

Quadro 5 - Numeração das cidades

Numeração	Cidade
1	São Miguel dos Campos
2	Campo Formoso
3	Sobral
4	Quixeré
5	Codó
6	João Pessoa
7	Caaporã
8	Pitimbu
9	Alhandra
10	Fronteiras
11	Mossoró
12	Baraúna
13	Laranjeiras
14	Pacatuba

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Tabela 6 - Distâncias dos CD´s até as plantas de cimento

Cidade	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
J. Pessoa	308	700	724	401	1.057	17	29
Aracaju	168	358	879	655	1.045	488	452
Fortaleza	705	766	208	153	619	540	573
Natal	441	761	616	293	985	144	188
Salvador	434	337	1.046	877	1.119	755	720
Cidade	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**
J. Pessoa	25	12	622	357	394	466	400
Aracaju	458	465	579	635	651	10	73
Fortaleza	571	560	409	193	160	787	754
Natal	183	171	594	247	285	587	527
Salvador	725	732	700	865	875	273	340

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Após a determinação das distâncias, foi calculado o custo de locação anual dos centros de distribuição adotando a premissa de 2.000 metros quadrados. Conforme mencionado anteriormente, a demanda de refratários da região Nordeste para o mercado de cimento é de aproximadamente 7.700 toneladas. O tamanho do CD para atender esse mercado foi adotado a partir da premissa que pisos industriais possuem normalmente a capacidade de 4 toneladas por metro quadrado. Dessa maneira, os

valores dos centros de distribuição em análise no presente estudo foram consultados em páginas da *internet* de locação de centros de distribuição. A Tabela 7 ilustra os valores encontrados assim como os custos anuais.

Tabela 7 - Custo de locação por cidade

Cidade		**Custo Anual**	**Tamanho(m2)**
João Pessoa	R$	360.000,00	2.000
Aracaju	R$	384.000,55	2.000
Fortaleza	R$	408.000,00	2.000
Natal	R$	432.000,00	2.000
Salvador	R$	600.000,00	2.000

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Dessa maneira, após a organização dos dados no software Excel, a ferramenta *solver* foi utilizada. O método de solução usado no *solver* foi o LP *Simplex*. As seguintes restrições foram aplicadas no problema:

- Toda demanda deve ser atendida;
- Localização escolhida possuirá valor binário (1 CD alocado e 0 não alocado);
- Soma do volume de cada CD deve ser menor ou igual sua capacidade.

De acordo com a solução determinada pelo *Solver*, a cidade ótima é João Pessoa, capital do estado de Pernambuco, uma vez que a localização obteve o valor 1 para a variável binária de alocação. Ainda, de acordo com a ferramenta, a localização ideal ainda forneceria todo o material para a região Nordeste de 7.700 toneladas conforme Tabela 8. De acordo com o IBGE (2021), a cidade possui 825.796 habitantes, área de 210,044 Km ².

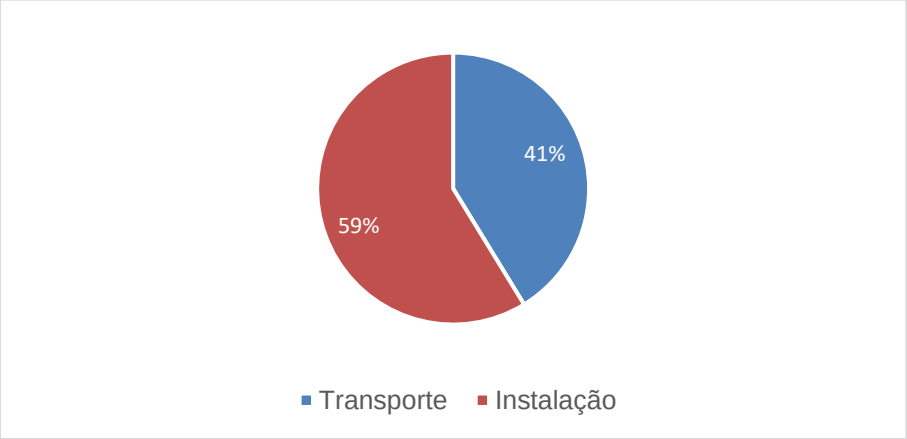
Tabela 8 - Resultado do método de localização de facilidades capacitado

Cidade	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
J.Pessoa	450	600	500	750	100	500	700	750
Cidade	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**Soma**	**Cap.**
J.Pessoa	600	450	150	550	1.400	200	7.700	7.700

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

O custo total de transporte e de instalação anual calculado pelo software foi de R$ 612.806,44. O custo de transporte calculado foi de R$ 252.806,44 e o de instalação foi de R$ 360.000. O Gráfico 3 ilustra a divisão do custo total de instalação e transporte para apenas um centro de distribuição.

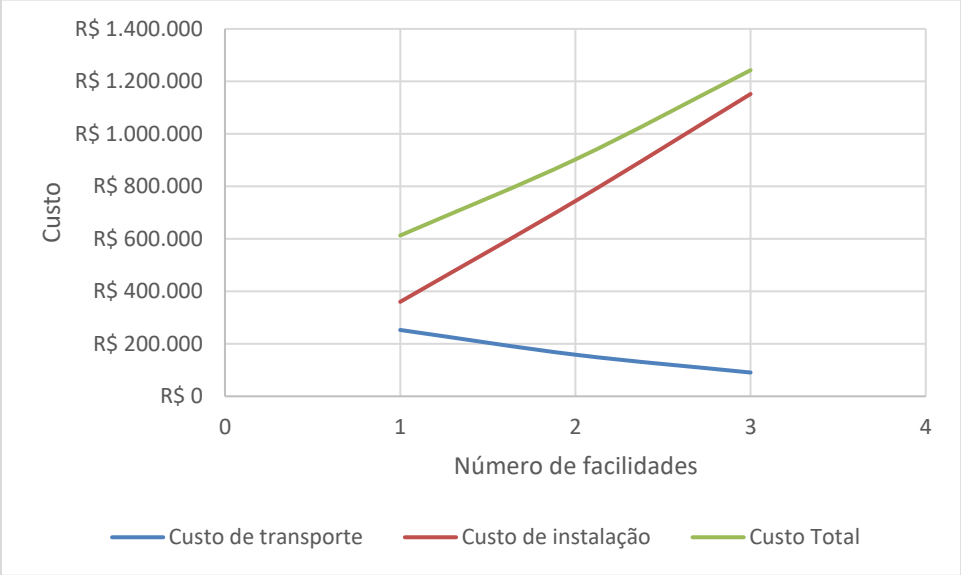
Gráfico 3 – Distribuição do custo total anual do CD



Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Adicionalmente foram criados dois cenários adicionais para analisar o custo de transporte, de instalação e o custo total a partir da escolha de mais de um centro de distribuição. Dessa maneira, foi alterado a restrição binária no Solver para cálculo de dos cenários mencionados anteriormente. Portanto, foi constatado que ao aumentar o número de facilidades, o custo de transporte diminui, porém, os custos de instalação e custos totais aumentam. De acordo com o Gráfico 4 também é possível inferir que a instalação de apenas uma facilidade obtém, de fato, o menor custo total, levando em conta as premissas adotadas no estudo.

Gráfico 4 - Relação custo e número de facilidades



Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

5.3 Resultados do método AHP

A partir da definição dos três critérios, iniciou-se a comparação par a par entre os critérios para definição do vetor prioridade. Dessa maneira, um especialista foi consultado para avaliar os critérios baseado na escala de Saaty (2008). A Tabela 9 exemplifica a comparação par a par.

Tabela 9 - Comparação par a par dos critérios

Critérios	**Custo**	**Umidade**	**Proximidade a portos**
Custo	1	3	7
Umidade	1/3	1	3
Proximidade a portos	1/7	1/3	1

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

A matriz normalizada foi calculada após definição da comparação par a par. A matriz foi calculada pela divisão de cada valor da Tabela 9 pela soma de cada coluna. O objetivo da matriz normalizada é calcular o vetor prioridade, dado pela soma média dos valores. Portanto, de acordo com o especialista, o custo possui a maior prioridade na comparação par a par entre os critérios, seguindo pelo critério umidade e por fim, proximidade aos portos. Na Tabela 10, é possível verificar o valor de cada vetor prioridade.

Tabela 10 - Matriz Normalizada

Critérios	Custo	Umidade	Proximidade a portos	Vetor Prioridade
Custo	0,677	0,692	0,636	0,669
Umidade	0,226	0,231	0,273	0,243
Proximidade a portos	0,097	0,077	0,091	0,088

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

O índice de consistência foi calculado através da equação 7, após o preenchimento da matriz normalizada e dos critérios. Posteriormente a razão de consistência foi calculada através da equação 8 e constatou-se que os valores estavam coerentes, tendo em vista que o valor é menor do que 0,1. A Tabela 11 ilustra os valores encontrados.

Tabela 11 – Razão de Consistência

Indicador	Valor
λ max	3,007
n	3
IC	0,004
IR	0,52
RC	0,0068

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Posteriormente, os critérios foram quantificados para realização da comparação com cada alternativa. As cidades de João Pessoa e a Aracaju foram as duas cidades escolhidas como possíveis candidatas da localização do CD.

O custo das cidades de João Pessoa e Aracaju foram calculados através do método de localização de facilidades capacitado. Na Tabela 12 estão presentes os custos encontrados no método.

Tabela 12 – Custo total de cada alternativa

Cidade	Custo
João Pessoa	R$ 612.806,44
Aracaju	R$ 692.479,68

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Para determinação dos pesos foi realizada comparação par a par a partir dos dados da tabela 11. Na Tabela 13 está presente a comparação par a par, sendo que para o critério de custo, os menores valores são considerados melhores para o presente estudo.

Tabela 13 - Comparação par a par - Custo

Cidade	Joao Pessoa	Aracaju
Joao Pessoa	1	1,13
Aracaju	8/9	1
Soma	1,885	2,130

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Posteriormente, a matriz foi normalizada seguindo o mesmo procedimento da normalização dos critérios citados no início da seção 5.3 deste trabalho. A Tabela 14 ilustra os valores encontrados.

Tabela 14 - Matriz de custo normatizada

Custo	Joao Pessoa	Aracaju	Vetor Prioridade
Joao Pessoa	0,531	0,531	0,531
Aracaju	0,469	0,469	0,469
Soma	1,000	1,000	1,000

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Para o critério de umidade, os dados foram consultados na página *web* do INMET (2022). A umidade média foi dada em porcentagem desde o ano de 1991 até 2020. Os dados das duas cidades podem ser encontrados na Tabela 15.

Tabela 15 – Umidade média de cada alternativa

Cidade	Umidade
João Pessoa	76,2%
Aracaju	75,9%

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Para determinação dos pesos foi realizada comparação par a par a partir dos dados da tabela 15. Na Tabela 16 estão presentes a comparação par a par, sendo que, para o critério de umidade, os menores valores são considerados melhores para o presente estudo.

Tabela 16 - Comparação par a par - Umidade

Cidade	Joao Pessoa	Aracaju

Joao Pessoa	1	0,996
Aracaju	1,004	1
Soma	2,004	1,996

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Posteriormente, a matriz foi normalizada seguindo o mesmo procedimento da normalização dos critérios citados no início da seção 5.3 deste trabalho. A Tabela 17 ilustra os valores encontrados.

Tabela 17 – Matriz de umidade normalizada

Umidade	**Joao Pessoa**	**Aracaju**	**Vetor Prioridade**
Joao Pessoa	0,499	0,499	0,499
Aracaju	0,501	0,501	0,501
Soma	1,000	1,00	1,000

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Para o critério de proximidade dos portos, os dados foram consultados na página *Google Earth* (2022). A distância foi calculada pelo próprio software a partir da localização do potencial CD até o porto mais próximo. A Figura 18 e Figura 19 contêm as distâncias lineares, em quilômetros, assim como a Tabela 18.

Figura 18 - Distância CD João Pessoa ao porto mais próximo
Fonte: Google Earth (2022c).

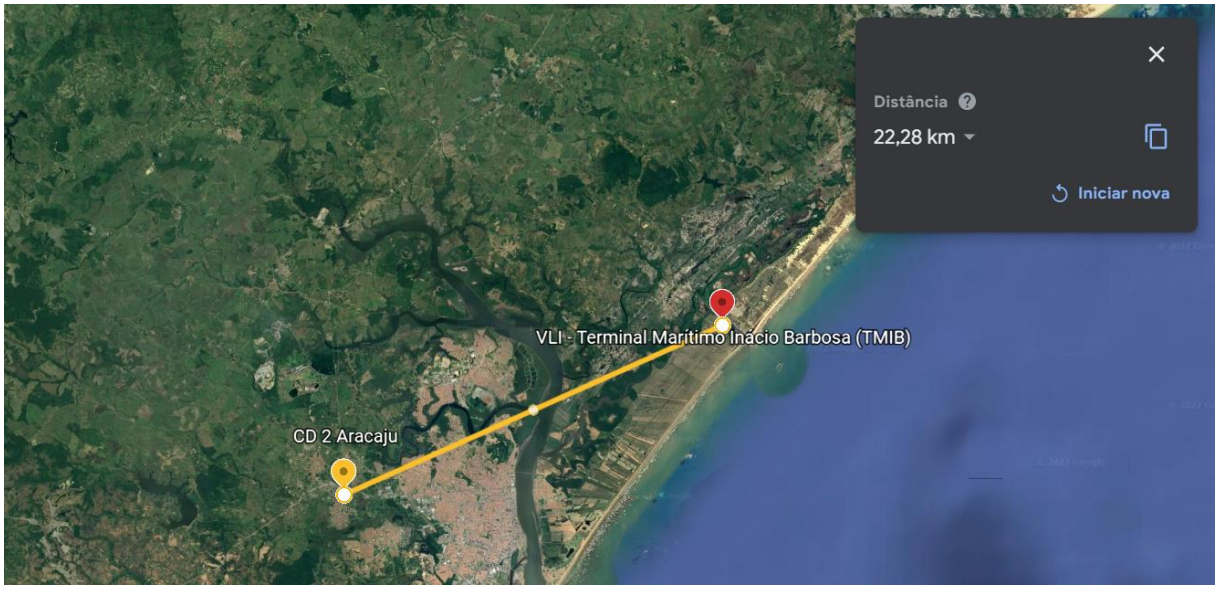


Figura 19 - Distância CD Aracaju ao porto mais próximo
Fonte: Google Earth (2022c).

Tabela 18 – Distância do CD ao porto mais próximo

Cidade	Distância
João Pessoa	34,78 Km
Aracaju	22,28 Km

Fonte: Google Earth (2022).

Para determinação dos pesos, foi realizada comparação par a par a partir dos dados da tabela 18. Na Tabela 19 está presente a comparação par a par, sendo que, para o critério de distância ao porto, os menores valores são considerados melhores para o presente estudo.

Tabela 19 - Comparação par a par – Distância ao porto

Cidade	Joao Pessoa	Aracaju
Joao Pessoa	1	0,641
Aracaju	1,561	1
Soma	2,561	1,641

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Posteriormente, a matriz foi normalizada seguindo o mesmo procedimento da normalização dos critérios citados no início da seção 5.3 deste trabalho. A Tabela 20 ilustra os valores encontrados.

Tabela 20 – Matriz distância ao porto normatizada

Cidade	Joao Pessoa	Aracaju	Vetor Prioridade
Joao Pessoa	0,390	0,390	0,390
Aracaju	0,610	0,610	0,610
Soma	1,000	1,000	1,000

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Por fim, a prioridade global foi calculada a partir da soma da multiplicação do vetor prioridade do critério pelo vetor prioridade de cada alternativa a partir do critério. Portanto, a cidade de João Pessoa foi a cidade escolhida tendo em vista que possui a maior prioridade global. A figura 20 e Tabela 21 apresentam os valores obtidos para o cálculo da prioridade global.

Tabela 21 - Resultado método AHP

Cidade	Custo	Umidade	Proximidade a portos	Prioridade Global
Joao Pessoa	0,531	0,499	0,390	0,511
Aracaju	0,469	0,501	0,610	0,489

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

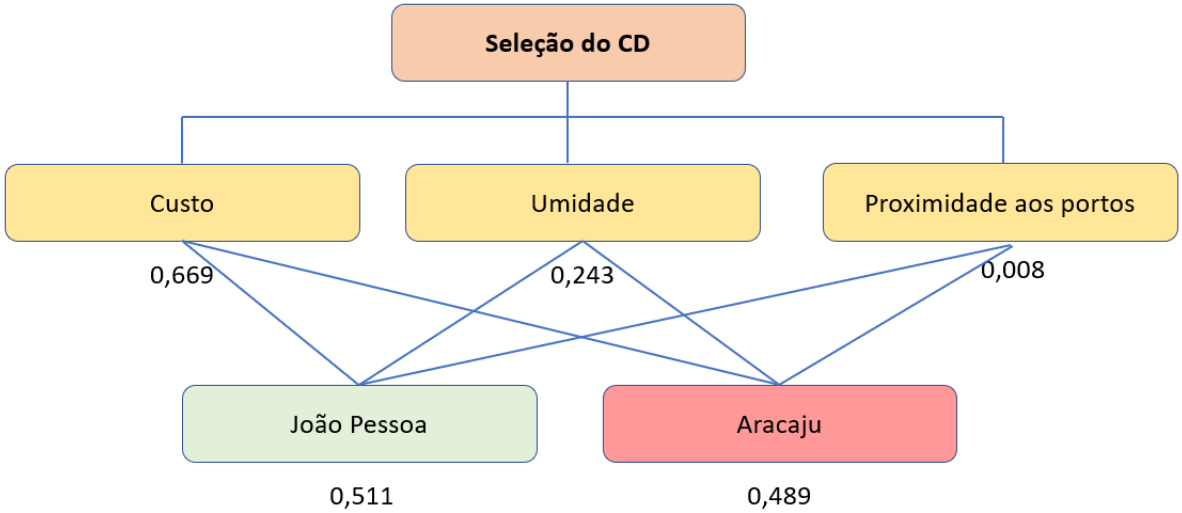


Figura 20 – Diagrama Resultado método AHP
Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

5.4 Discussão dos Resultados

O método de centro de gravidade obteve a localização ótima na cidade de Barra de São Miguel no estado da Paraíba. Para aplicação do método foram considerados a demanda de refratários e custo anual de transporte para determinar a localização ótima.

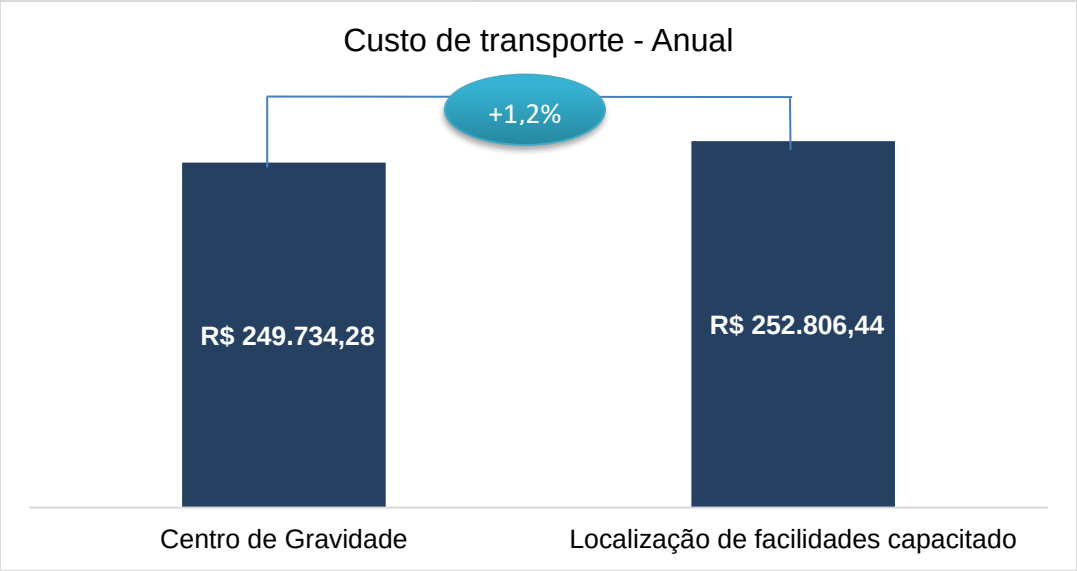
Para aplicação do método de localização de facilidades capacitado foram considerado os custos de transporte e instalação além dos dados de demanda. Como resultado do método, constatou-se que a capital de João Pessoa no Estado da Paraíba seria a melhor alternativa. Além disso, foi possível observar que o menor custo total seria com apenas um centro de distribuição.

Os métodos do centro de gravidade e localização de facilidades capacitado possuem como resultados pontos próximos geograficamente, sendo que a distância linear entre eles é de aproximadamente 150 quilômetros. Na Figura 21 é possível constatar a diferença entre eles. O ponto amarelo CD 1 refere-se à localização do resultado do método de centro de gravidade, enquanto, o ponto CD 2 refere-se ao método de localização de facilidades capacitado.

Figura 21 – Distância entre os resultados dos métodos
Fonte: Google Earth (2022d).

Ao se comparar os custos de transporte dos métodos de centro de gravidade e localização de facilidades capacitado, foi constatado que os valores estão próximos. O custo de transporte do método de centro de gravidade apresentou o menor custo de transporte como esperado, tendo em vista que o objetivo do método é encontrar o ponto com menor custo de transporte. O custo de transporte do método de localização de facilidades capacitado encontrado foi apenas 1,2% maior. Os custos de carga e descarga não foram considerados na comparação por serem comuns aos dois métodos. No Gráfico 5 estão os custos encontrados em cada método.

Gráfico 5 - Comparação custos de transporte



Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Na modelagem do AHP procurou-se determinar quais seriam os critérios mais relevantes para localização do CD. Dessa maneira, foram identificados critérios como custo, umidade e proximidade a portos. O resultado obtivo pelo método AHP apresenta-se coerente em virtude de o custo total ser o menor dentre as cidades consideradas e pelo fato de o custo ter o maior peso no método. Dessa maneira, o método de localização de facilidades capacitado e AHP convergiram para a mesma cidade como ponto ótimo de localização para um centro de distribuição de refratários.

6 CONCLUSÃO

Este capítulo contém a conclusão da análise dos resultados mencionados anteriormente, assim como os objetivos específicos e geral elencados na introdução do trabalho. Adicionalmente, recomendações e sugestões acerca de futuros trabalhos acadêmicos relacionados à localização de centros de distribuição de refratários, serão mencionados ao final do presente capítulo.

O objetivo geral do trabalho tem como finalidade obter a localização ótima de centro de distribuição de refratários para atendimento ao mercado de cimento da Região Nordeste. Dessa maneira, ao longo do presente estudo foram realizadas:

- Revisão da literatura nacional e internacional;
- Modelagem e aplicação dos métodos de centro de gravidade, AHP e localização de facilidades capacitado.

Portanto, o primeiro objetivo específico refere-se a análise da literatura de quais métodos e fatores influenciam o processo de tomada de decisão de localização de centros de distribuição. Esse objetivo foi atingido tendo em vista que a revisão bibliográfica do tema serviu de embasamento teórico para construção do presente trabalho.

O segundo objetivo específico trata-se da análise da demanda anual de refratários para mercado de cimento da região Nordeste. Portanto, esse objetivo específico também foi atingido uma vez que foi possível analisar e mensurar a demanda anual aproximada de refratários da região.

O terceiro objetivo específico refere-se a análise do valor do custo de transporte anual. Esse objetivo também foi atingido visto que esse valor pôde ser mensurado através dos métodos de centro de gravidade e localização de facilidades capacitado.

Dessa maneira, concluindo o presente trabalho, é possível afirmar que, a partir do cumprimento dos objetivos específicos e atividades desenvolvidas ao longo do estudo, o objetivo geral de identificar a localização ótima de centro de distribuição de refratários para o mercado de cimento na região Nordeste foi alcançado. Espera-se que o presente estudo possa contribuir para o tema futuramente tendo em vista a falta de trabalhos acadêmicos disponíveis no momento, principalmente referente aos métodos de localização de facilidades capacitado e AHP.

A fim de contribuir com futuros temas de pesquisas acadêmicos, sugere-se a análise da demanda de refratários como estoque de segurança em substituição a demanda total e a inclusão da origem do material refratário, o qual não foi possível analisar devido à falta de disponibilidade das informações referentes a cada fornecedor. Por fim, sugere-se que na aplicação do método AHP sejam consultados vários especialistas para melhor definição dos critérios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCERAM – Associação Brasileira de Cimento Portland. s.d. Disponível em: <https://abceram.org.br/definicao-e-classificacao/>. Acesso em: 18 de novembro de 2021.

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland. 2020. Disponível em: <https://abcp.org.br/vendas-de-cimento-crescem-11-em-2020/>. Acesso em: 10 de outubro de 2021.

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland. 2021. Disponível em: <https://abcp.org.br/cimento/tipos/>. Acesso em: 11 de julho de 2021.

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland. Panorama do Coprocessamento 2021 (Ano base 2020). São Paulo, 2021. 24p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 16697: Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

ALBADVI, Amir; CHAHARSOOGHI, S. Kamal; ESFAHANIPOUR, Akbar. Decision making in stock trading: An application of PROMETHEE. **European journal of operational research**, v. 177, n. 2, p. 673-683, 2007.

ANDERSON, David L.; BRITT, Frank F.; FAVRE, Donavon J. The 7 principles of supply chain management. **Supply Chain Management Review**, v. 11, n. 3, p. 41-46, 2007.

ATHAWALE, Vijay Manikrao; CHATTERJEE, Prasenjit; CHAKRABORTY, Shankar. Decision making for facility location selection using PROMETHEE II method. **International Journal of Industrial and Systems Engineering** 1, v. 11, n. 1-2, p. 16-30, 2012.

BACELLAR, Rodrigo Matos Huet de; NALI, Eduardo Christensen. O apoio à indústria de base na região Nordeste. 2014.

BAKER, Peter. The design and operation of distribution centres within agile supply chains. International Journal of Production Economics, v. 111, n. 1, p. 27-41, 2008.

BALLOU, **Gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento, organização e logística empresarial.** 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006a.

BALLOU, Ronald H. **The evolution and future of logistics and supply chain management**. 2006b.

BELTON, Valerie; STEWART, Theodor. **Multiple criteria decision analysis: an integrated approach**. Springer Science & Business Media, 2002.

BEZERRA SEGUNDO, Gilmar Lopes. Localização das instalações de uma empresa de marketing jurídico digital na cidade de Mossoró: um estudo de caso. 2020.

BITTENCOURT, Bárbara Nascimento; JUNIOR, Marcos Wagner Jesus Servare. CENTRO DE GRAVIDADE PARA LOCALIZAR CENTRO DE COLETA PARA A ECONOMIA CIRCULAR DO ÓLEO DE COZINHA EM VITÓRIA, ES: GRAVITY CENTER TO LOCATE A COLLECTION CENTER FOR THE CIRCULAR ECONOMY OF COOKING OIL IN VITÓRIA, ES. Brazilian Journal of Production Engineering-BJPE, p. 194-206, 2021.

BOJKOVIĆ, Nataša; ANIĆ, Ivan; PEJČIĆ-TARLE, Snežana. One solution for cross-country transport-sustainability evaluation using a modified ELECTRE method. **Ecological Economics**, v. 69, n. 5, p. 1176-1186, 2010.

BRANDEAU, Margaret L.; CHIU, Samuel S. An overview of representative problems in location research. **Management science**, v. 35, n. 6, p. 645-674, 1989.

CAKMAK, Pinar Irlayici; CAKMAK, Emre. An analysis of causes of disputes in the construction industry using analytical hierarchy process (AHP). **AEI 2013: Building Solutions for Architectural Engineering**, p. 94-102, 2013.

CHOPRA, Sunil. Designing the distribution network in a supply chain. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, v. 39, n. 2, p. 123-140, 2003.

CHOUDHARY, Devendra; SHANKAR, Ravi. An STEEP-fuzzy AHP-TOPSIS framework for evaluation and selection of thermal power plant location: A case study from India. Energy, v. 42, n. 1, p. 510-521, 2012.

CHRISTOPHER, Martin; TOWILL, Denis R. Supply chain migration from lean and functional to agile and customised. Supply Chain Management: An International Journal, v. 5, n. 4, p. 206-213, 2000.

CORNUÉJOLS, Gérard; NEMHAUSER, George; WOLSEY, Laurence. The uncapicitated facility location problem. Cornell University Operations Research and Industrial Engineering, 1983.

CREF – Centro de Referência para o ensino de Física (UFRGS). 2021. Disponível em: <https://cref.if.ufrgs.br/?contact-pergunta=calculo-aproximado-de-distancias-com-base-em-coordenadas-de-latitude-e-longitude>. Acesso em: 19 de junho de 2022.

CSCMP – Council of Supply Chain Management Professionals. 2013. Disponível em:<https://cscmp.org/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms.aspx>. Acesso em: 14 de novembro de 2021.

DA SILVA, Arthur Coelho. **Estudo de viabilidade econômica para implantação de uma fábrica de cimento.** 2012. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

DA SILVA, Krystian Yago Cera; SAMED, Márcia Marcondes Altimari. Aplicação do método AHP para otimizar a localização dos postos do SAMU na cidade de Maringá. **Trabalhos de Conclusão de Curso do DEP**, v. 12, n. 1, 2017.

DA SILVA, Leandro Fernandes *et al.* Avaliação da localização de base de atendimento para equipamentos de movimentação de uma empresa siderúrgica. **Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia**. Rio de Janeiro: SEGeT, 2012.

DANTAS, A. S.; TACO, P. W. G.; YAMASHITA, Yaeko. Sistemas de informação geográfica em transportes: o estudo do estado da arte. In: **Congresso da Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes ANPET**. 1996.

DE CARLOS, Felipe Meneguetti; SAMED, Márcia Marcondes Altimari. Implementação da metodologia fuzzy AHP para tomada de decisão da localização de armazéns de trigo no Paraná. **Trabalhos de Conclusão de Curso do DEP**, v. 12, n. 1, 2017.

DE OLIVEIRA QUEIROZ, Mateus; RANGEL, Luís Alberto Duncan. Avaliação multicritério para localização de uma planta dosadora de Concreto. **Engevista**, v. 21, n. 1, p. 14-29, 2019.

DE OLIVEIRA TEIXEIRA, Marcos Henrique. Concretos refratários utilizados na indústria do cimento-análise comparativa de desempenho em função do tipo de ligante e da forma de aplicação. 2016.

DE SOUSA PEREIRA, Nathália *et al.* ANÁLISE ESTRATÉGICA DE LOCALIZAÇÃO DE EMPRESAS: UM ESTUDO DE CASO SOBRE PERSPECTIVAS DE MULTICRITÉRIOS: APPLICATION OF GRAVITY CENTER METHOD AND FACTORS WEIGHTING METHOD: A CASE STUDY IN A LOAD CARRIER COMPANY. **Brazilian Journal of Production Engineering-BJPE**, p. 100-116, 2019.

DE SOUZA, Gabriel Lemos; SAMED, Márcia Marcondes Altimari. MODELAGEM DE PROBLEMA DE LOCALIZAÇÃO DE FACILIDADES: ESTUDO DE CASO DE UMA MONTADORA. Trabalhos de Conclusão de Curso do DEP, v. 8, n. 1, 2012.

DEY, Balaram *et al.* Warehouse location selection by fuzzy multi-criteria decision making methodologies based on subjective and objective criteria**. International Journal of Management Science and Engineering Management**, v. 11, n. 4, p. 262-278, 2016.

DOU - Diário Oficial da União. 2021. Disponível em: https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-90-de-1-de-marco-de-2021306215427>. Acesso em: 19 de junho de 2022.

GLOBAL CEMENT. **Global Cement Directory 2022**. 15th Edition. United Kingdom, 2022.

GOOGLE DRIVE. 2022. Disponível em: < https://drive.google.com/drive/folders/16ATxUlg-H-cLVMmCYXTb55dRZEDTKnjs?usp=sharing >. Acesso em: 27 de junho de 2022.

GOOGLE EARTH. 2022a. Disponível em < https://earth.google.com/earth/d/1JlSDY8w3ZIc6RNfPnVy1r1gW9t9vHudj?usp=sharing>. Acesso em: 19 de junho de 2022.

GOOGLE EARTH. 2022b. Disponível em < https://earth.google.com/earth/d/1fOmb5YmWbAAl_6X7eu8tj0THRJRWsynB?usp=sharing> . Acesso em: 19 de junho de 2022.

GOOGLE EARTH. 2022c. Disponível em < https://earth.google.com/earth/d/1Vpf9f5Rox5fPKPCgPMPFA6atCho7B-ID?usp=sharing> . Acesso em: 19 de junho de 2022.

GOOGLE EARTH. 2022d. Disponível em < https://earth.google.com/earth/d/1JBTFfFKLokxFs8V09PTU1x99I9CYywVn?usp=sharing> . Acesso em: 19 de junho de 2022.

GOMES, Mauro Thomaz de Oliveira *et al.* A indústria de cimento. 1997.

GONÇALVES, Marcus Eduardo; MARINS, Fernando Augusto Silva; SALOMON, Valério Antônio Pamplona. Aplicação do AHP na escolha da localização da reitoria de uma universidade multi-campi. XXXV **Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Natal, Rio Grande do Norte, Brasil,** 2003.

HELENE, Paulo; ANDRADE, Tibério. Concreto de cimento Portland. Isaia, Geraldo Cechella. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. São Paulo: IBRACON**, v. 2, p. 905-944, 2007.

IBGE. **Cidades e Estados**. 2022. Disponível em <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pb/barra-de-sao-miguel.html >. Acesso em 01 de maio de 2022.

IBGE. **Cidades e Estados**. 2021. Disponível em < https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pb/joao-pessoa.html >. Acesso em 31 de maio de 2022.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. 2022. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em: 19 de junho de 2022.

ISLAM, Dewan Md Zahurul *et al.* Logistics and supply chain management. **Research in Transportation Economics**, v. 41, n. 1, p. 3-16, 2013.

KA, Bian. Application of fuzzy AHP and ELECTRE to China dry port location selection. The Asian Journal of Shipping and Logistics, v. 27, n. 2, p. 331-353, 2011.

KALANTARI, Amir Hossein. Facility location selection for global manufacturing. 2013.

KARANDE, Prasad; CHAKRABORTY, Shankar. Application of multi-objective optimization on the basis of ratio analysis (MOORA) method for materials selection. Materials & Design, v. 37, p. 317-324, 2012.

KOÇ, Eylem; BURHAN, Hasan Arda. An application of analytic hierarchy process (AHP) in a real world problem of store location selection. **Advances in management and applied economics**, v. 5, n. 1, p. 41, 2015.

KOPCZAK, Laura Rock; JOHNSON, M. Eric. The supply-chain management effect. **MIT Sloan Management Review**, v. 44, n. 3, p. 27-34, 2003.

LARSEN, Morten Boberg. **Alternative fuels in cement production**. Lyngby, Denmark: Department of Chemical Engineering, Technical University of Denmark, 2007.

LEYVA-LOPEZ, Juan Carlos; FERNANDEZ-GONZALEZ, Eduardo. A new method for group decision support based on ELECTRE III methodology. **European journal of operational research**, v. 148, n. 1, p. 14-27, 2003.

LI, Xiangxin *et al.* Application of the entropy weight and TOPSIS method in safety evaluation of coal mines. **Procedia engineering**, v. 26, p. 2085-2091, 2011.

LOZANO, Fernando Arturo Erazo. Seleção de locais para barragens de rejeitos usando o método de análise hierárquica. 2006. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MAHDIAN, Mohammad; PÁL, Martin. Universal facility location. In: European Symposium on Algorithms. Springer, Berlin, Heidelberg, 2003. p. 409-421.

MANGALAN, Anil Varghese *et al.* Optimal location of warehouse using weighted MOORA approach. In: 2016 International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT). IEEE, 2016. p. 662-665.

MARINONI, Oswald. Implementation of the analytical hierarchy process with VBA in ArcGIS. **Computers & Geosciences**, v. 30, n. 6, p. 637-646, 2004.

MOKRZYCKI, Eugeniusz; ULIASZ-BOCHEŃCZYK, Alicja. Alternative fuels for the cement industry. **Applied Energy**, v. 74, n. 1-2, p. 95-100, 2003.

MORADI, Esmaeel; BIDKHORI, Morteza. Single facility location problem. In: **Facility Location**. Physica, Heidelberg, 2009. p. 37-68.

ÖZCAN, Tuncay; ÇELEBI, Numan; ESNAF, Şakir. Comparative analysis of multi-criteria decision making methodologies and implementation of a warehouse location selection problem. **Expert Systems with Applications**, v. 38, n. 8, p. 9773-9779, 2011.

PINTO, Rodolfo Lisita. Estudo da localização de n instalações fabris em um sistema logístico. 2015.

PLATT, Allan Augusto; NUNES, Rogério da Silva. Logística e cadeia de suprimentos.
Florianópolis: Departamento de Ciências da Administração/UFSC, p. 1-88, 2007.

PRAÇA, Eduardo Rocha et al. Localização otimizada de plantas de produção de biodiesel de mamona no Estado do Ceará: um modelo baseado em programação linear. 2005.

PRICE, P. M., & HARRISON, N. J. **Warehouse Management & Inventory Control (2nd ed.)**. Access Education, 2015.

PRODANOV, Cleber Cristiano; DE FREITAS, Ernani Cesar. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico-2ª Edição**. Editora Feevale, 2013.

RESUENHO, Ednaldo dos Santos. A dinâmica do processo de produção do cimento no nordeste paraense. 2017.

ROMERO, Bianca de Cássia. **Análise da localização de plataformas logísticas: aplicação ao caso do ETSP-Entreposto Terminal São Paulo-da CEAGESP**. 2006.
Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SAATY, Roseanna W. The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. Mathematical modelling, v. 9, n. 3-5, p. 161-176, 1987.

SAATY, Thomas L. Decision making with the analytic hierarchy process. International journal of services sciences, v. 1, n. 1, p. 83-98, 2008.

SAATY, Thomas L. Decision making—the analytic hierarchy and network processes (AHP/ANP). **Journal of systems science and systems engineering**, v. 13, n. 1, p. 1-35, 2004.

SAATY, Thomas L. **Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process**. RWS publications, 2000.

SALGADO, Roberto Resende *et al.* WebGIS de geomarketing: solução de dois estágios para um problema de localização do varejo. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 46, n. 1, p. 75-89, 2019.

SANTOS, Ana Laura Brasileiro *et al.* Método de análise hierárquica para suporte à decisão na localização de instalações geradoras de energia solar fotovoltaica no estado de Sergipe. **Brazilian Journal of Business**, v. 1, n. 3, p. 924-943, 2019.

SANTOS, Leandro Bruno. Considerações geográficas sobre o Brasil e os fluxos internacionais de cimento. GEOGRAFIA (Londrina), v. 19, n. 1, p. 63-85, 2010.

SARI, Fatih *et al.* Using AHP and PROMETHEE multi-criteria decision making methods to define suitable apiary locations. **Journal of Apicultural Research**, v. 59, n. 4, p. 546-557, 2020.

SENGUPTA, Prasunjit. **Refractories for the cement industry**. Springer, 2020.

SHIMADA, Helio. **Impacto da prospecção geológica na otimização do processo de produção de cimento Portland na fábrica de cimento Votoran, Votorantim, SP**. 1999. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SILVA, José Lassance de Castro; OLIVEIRA FILHO, Osvaldo Moreira de. Método prático para resolução do problema de localização de facilidades capacitado. 2005.

SILVA, Larissa Machado da *et al.* Estudo de localização para um operador logístico: aplicação dos métodos centro de gravidade e Analytic Hierarchy Process. 2020.

SLACK, N.; BRANDON-JONES, A.; JOHNSTON, R. Operations management. Pearson Education, 2013.

SNIC – Sindicato Nacional da Indústria do Cimento. 2021a. Disponível em: <http://snic.org.br/numeros-industria.php>. Acesso em: 19 de novembro de 2021.

SNIC - Sindicato Nacional da Indústria do Cimento**. Roadmap tecnológico do cimento**. Rio de Janeiro, 2019.

SNIC – Sindicato Nacional da Indústria do Cimento. 2021b. Disponível em: <http://snic.org.br/fabricas-localizacoes.php>. Acesso em: 19 de Junho de 2022.

SOARES, Isabela Rubim Costa *et al.* Localização de centro de triagem de papel para escolas do bairro da vila mariana, são paulo: location of paper sorting center for schools in vila mariana neighborhood, São Paulo. Brazilian Journal of Production Engineering-BJPE, p. 110-119, 2020.

SOARES, Leandro. Logística e gestão da cadeia de suprimentos: conceitos e diferenças. **Cadernos UNISUAM de Pesquisa e Extensão**, v. 5, n. 4, p. 46-53, 2016.

SOUZA, Francisco Jerley Solon de; PEREIRA, Nathalia de Sousa; PONTES, Heraclito Lopes Jaguaribe. Aplicação do método do centro de gravidade para decisão de localização de uma transportadora rodoviária de cargas. 2015.

TADIĆ, Snežana; ZEČEVIĆ, Slobodan; KRSTIĆ, Mladen. City logistics terminal location selection using combined fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS analysis. In: Proceedings of the 1st International conference on traffic and transport engineering, ICTTE. 2012. p. 345-358.

VDZ - Research Institute of the Cement Industry. Clinker Production, Duesseldorf, 2018.

VOLPI, Neida M. Patias *et al.* MODELO DE LOCALIZAÇÃO DE FACILIDADES PARA A INSTALAÇÃO DE PÓLOS PARA COLETA DE RESÍDUOS NA REGIÃO DE CURITIBA. Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha-Publicação Online, v. 1, n. 1, p. 340-350, 2014.

WANG, Xiaoting; TRIANTAPHYLLOU, Evangelos. Ranking irregularities when evaluating alternatives by using some ELECTRE methods. **Omega**, v. 36, n. 1, p. 45-63, 2008.

Estado	Cidade	Grupo	Cap.	Fato	Demanda Refratário (t)	X	Y	K	N. Viage	R$/Km	C/D	Custo C/	Distância Km
Alagoas	São Miguel dos Campos	Intercement	0,9	0,5	450	-9,763	-36,149	111,12	14	3,13125	261,81	R$ 3.665	227
Bahia	Campo Formoso	Intercement	1,2	0,5	600	-10,519	-40,328	111,12	19	3,13125	261,81	R$ 4.974	546
Ceara	Sobral	Votorantim	1,0	0,5	500	-3,690	-40,373	111,12	16	3,13125	261,81	R$ 4.189	638
Ceara	Quixeré	Apodi	1,5	0,5	750	-5,043	-37,778	111,12	23	3,13125	261,81	R$ 6.022	341
Maranhão	Codó	João Santos	0,2	0,5	100	-4,525	-44,039	111,12	4	3,13125	261,81	R$ 1.047	932
Paraíba	João Pessoa	Intercement	1,0	0,5	500	-7,127	-34,896	111,12	16	3,13125	261,81	R$ 4.189	168
Paraíba	Caaporã	Lafarge Holcim	1,4	0,5	700	-7,523	-34,865	111,12	22	3,13125	261,81	R$ 5.760	160
Paraíba	Pitimbu	Brennnand	1,5	0,5	750	-7,475	-34,842	111,12	23	3,13125	261,81	R$ 6.022	163
Paraíba	Alhandra	Elizabeth	1,2	0,5	600	-7,372	-34,886	111,12	19	3,13125	261,81	R$ 4.974	161
Piauí	Fronteiras	João Santos	0,9	0,5	450	-6,952	-40,520	111,12	14	3,13125	261,81	R$ 3.665	478
Rio Grande do Norte	Mossoró	João Santos	0,3	0,5	150	-5,201	-37,394	111,12	5	3,13125	261,81	R$ 1.309	306
Rio Grande do Norte	Baraúna	Mizu	1,1	0,5	550	-5,073	-37,714	111,12	17	3,13125	261,81	R$ 4.451	335
Sergipe	Laranjeiras	Votorantim	2,8	0,5	1.400	-10,825	-37,165	111,12	43	3,13125	261,81	R$ 11.258	358
Sergipe	Pacatuba	Mizu	0,4	0,5	200	-10,412	-36,700	111,12	7	3,13125	261,81	R$ 1.833	302

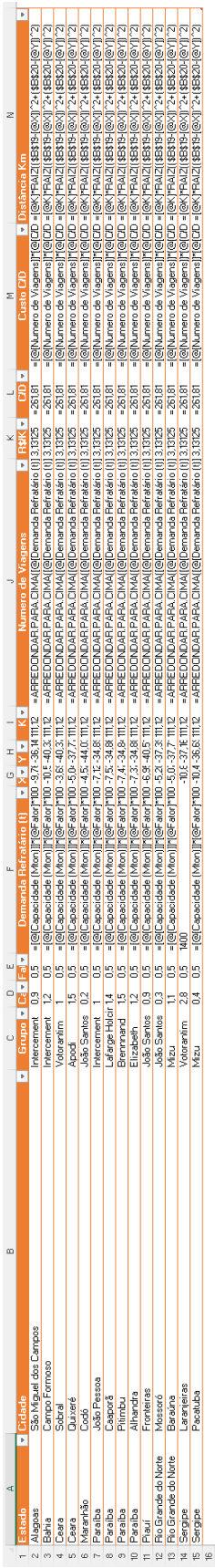
Localização

x	-7,727473469
y	-36,28706555
Custo de transporte	**R$ 249.734,28**

Custo Carga/Descarga	**R$ 63.358**
Custo Total de Transporte	**R$ 313.092,30**

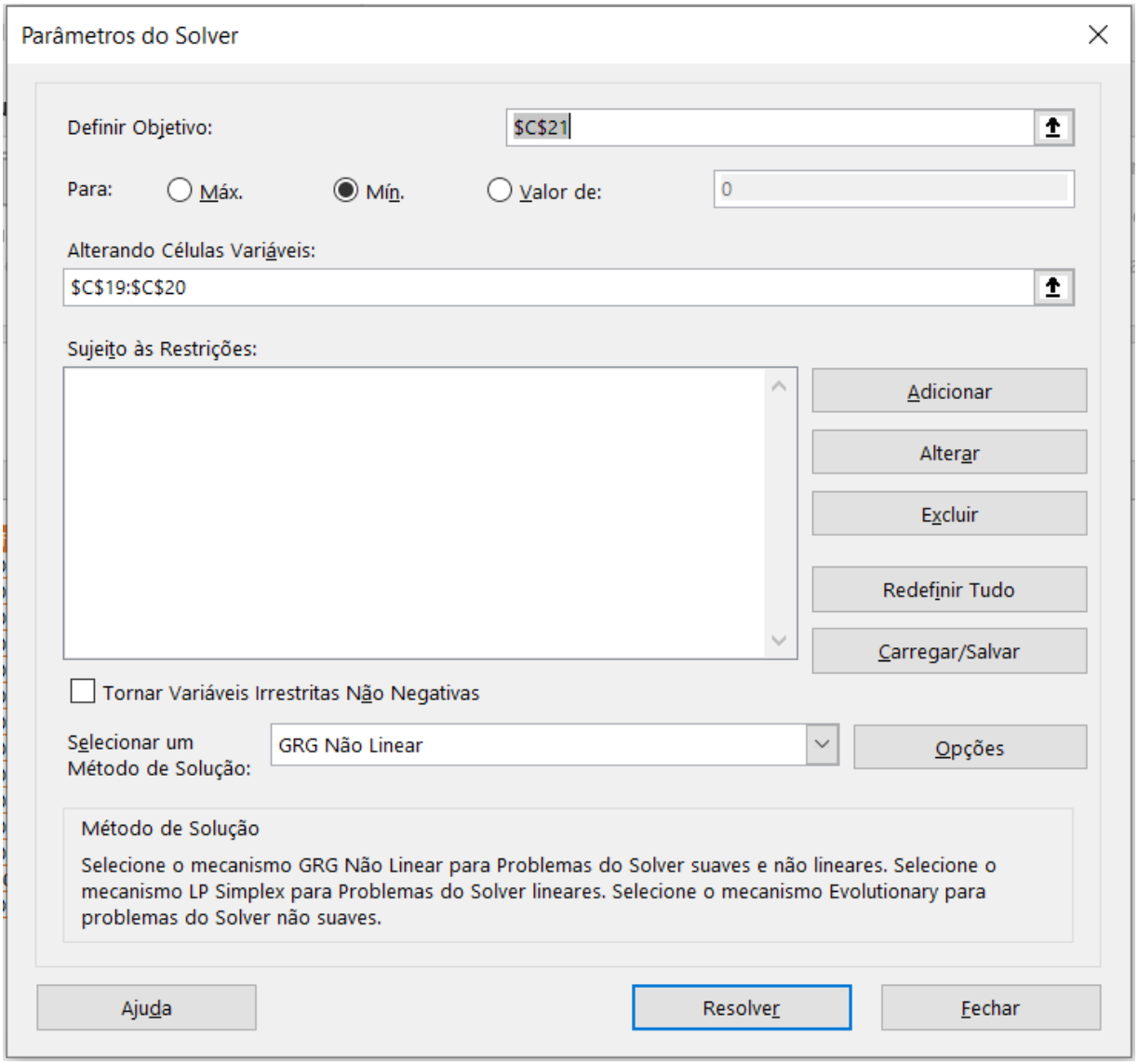
Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

APÊNDICE B – Fórmulas do método centro de gravidade



Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

APÊNDICE C – Solver do método centro de gravidade



Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

APÊNDICE D – Método de localização de facilidades capacitado

Cidade	São Miguel dos Campos	Campo Formoso	Sobral	Quixeré	Codó	João Pessoa	Caaporã	Pitimbu	Alhandra	Fronteiras	Mossoró	Baraúna	Laranjeiras	Pacatuba	Capacidade	Custo de Inst.	m2	R$/m2
João Pessoa	964	2.190	2.266	1.257	3.309	52	91	78	39	1.947	1.119	1.233	1.460	1.254	7.700	R$ 360.000,00	2.000	R$ 15,00
Aracaju	525	1.120	2.752	2.052	3.272	1.528	1.417	1.435	1.457	1.812	1.987	2.040	30	228	7.700	R$ 384.000,55	2.000	R$ 16,00
Fortaleza	2.208	2.399	652	481	1.938	1.692	1.795	1.789	1.753	1.281	604	501	2.465	2.362	7.700	R$ 408.000,00	2.000	R$ 17,00
Natal	1.382	2.384	1.930	917	3.084	452	588	574	535	1.860	773	893	1.839	1.650	7.700	R$ 432.000,00	2.000	R$ 18,00
Salvador	1.359	1.055	3.276	2.748	3.504	2.364	2.253	2.272	2.293	2.193	2.708	2.739	854	1.063	7.700	R$ 600.000,00	2.000	R$ 25,00
Demada	**450**	**600**	**500**	**750**	**100**	**500**	**700**	**750**	**600**	**450**	**150**	**550**	**1400**	**200**				

Variaveis de decisão

xij: quantidade enviada da cidade ao mercado j

yij: Abrir facilidade na cidade i; 1 para sim; 0 não, não abrir

Restrição

Cidade	São Miguel dos Campos	Campo Formoso	Sobral	Quixeré	Codó	João Pessoa	Caaporã	Pitimbu	Alhandra	Fronteiras	Mossoró	Baraúna	Laranjeiras	Pacatuba	Abrir CD?	Soma	Capacidade
João Pessoa	450	600	500	750	100	500	700	750	600	450	150	550	1.400	200	1	7.700	7.700
Aracaju	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fortaleza	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Natal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Salvador	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

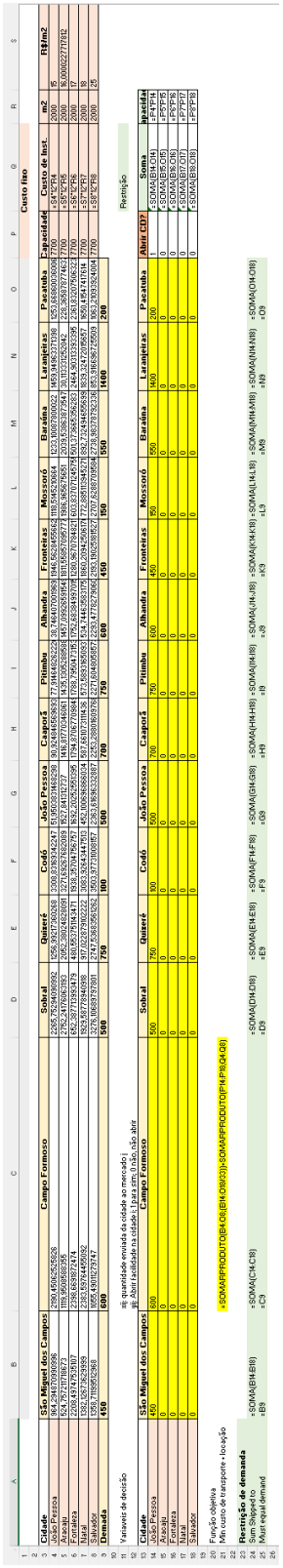
Função objetiva

Min custo de transporte + locação R$ 612.806,44

Restrição de demanda														
Soma	450	600	500	750	100	500	700	750	600	450	150	550	1.400	200
Deve igualar (	450	600	500	750	100	500	700	750	600	450	150	550	1400	200

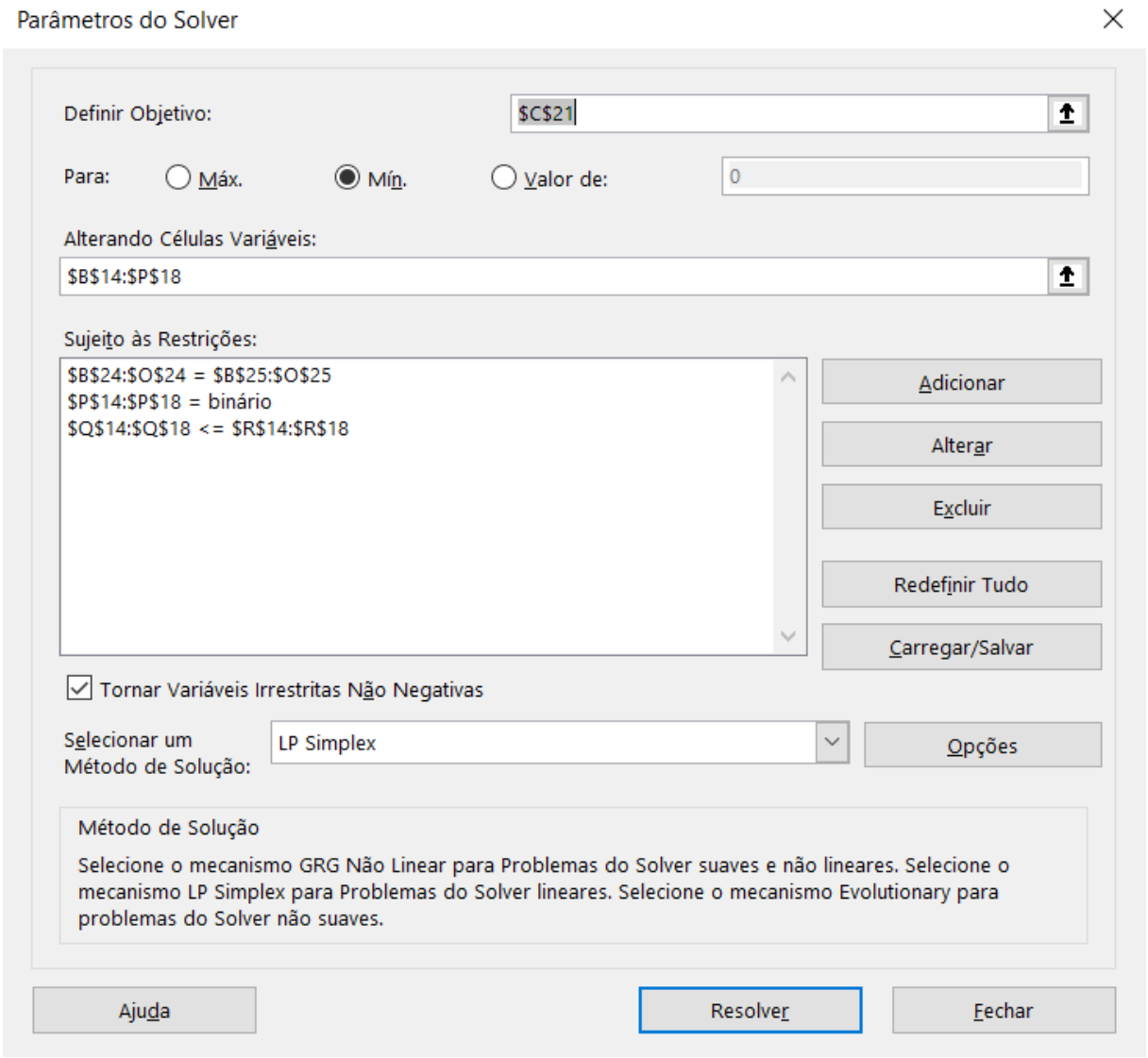
Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

APÊNDICE D – Fórmulas método de localização de facilidades capacitado



Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

APÊNDICE E – Solver método de localização de facilidades capacitado



Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

APÊNDICE F – AHP

Critérios	Custo	Umidade	Proximidade a portos
Custo	1	3	7
Umidade	=1/D7	1	3
Proximidade a portos	=1/E7	=1/3	1
Soma	=SOMA(C7:C9)	=SOMA(D7:D9)	=SOMA(E7:E9)

Matriz Normalizada

Critérios	Custo	Umidade	Proximidade a portos	Vetor Prioridade
Custo	=C7/C$10	=D7/D$10	=E7/E$10	=MÉDIA(C16:E16)
Umidade	=C8/C$10	=D8/D$10	=E8/E$10	=MÉDIA(C17:E17)
Proximidade a portos	=C9/C$10	=D9/D$10	=E9/E$10	=MÉDIA(C18:E18)
				=SOMA(F16:F18)

Calculo da Razão da Consistência (RC)

Indicador	Valor
y max	=(((MATRIZ.MULT(C7:E7;F16:F18))/F16)+(MATRIZ.MULT(C8:E8;F16:F18))/F17+(MATRIZ.MULT(C9:E9;F16:F18))/F18)/C25
n	3
IC	=(C24-C25)/(C25-1)
IR	0,52
RC	=C26/C27

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).