

MODELO DE LOCALIZAÇÃO DE PLATAFORMAS LOGÍSTICAS COM AUXÍLIO DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Beatriz Berti da Costa

Carlos David Nassi

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Glaydston Mattos Ribeiro

Universidade Federal do Espírito Santo

Resumo

O gerenciamento da cadeia de suprimentos ganhou importância na gestão das empresas nos últimos anos, principalmente devido aos avanços tecnológicos que permitiram descentralizar as atividades. Com isso surgiu o crescimento de operadores logísticos que passaram a integrar a cadeia logística das empresas. Estes novos integrantes procuram ajudar a reduzir o tempo de ciclo na operação e distribuição dos produtos, com foco no nível de serviço projetado e esperado pelo cliente. Desta maneira, o transporte e as operações logísticas se tornaram atividades importantes para se alcançar os objetivos desejados. Neste contexto, surgem as plataformas logísticas que podem ajudar a dar respostas rápidas, entretanto elas precisam ser posicionadas em locais estratégicos, para reduzir custo, levando em consideração fatores tangíveis e intangíveis. Assim, este artigo apresenta uma metodologia para localização de plataformas logísticas utilizando sistemas de informações geográficas e um estudo de caso.

Palavras-Chave: Plataformas logísticas, Localização, SIG.

Abstract

Currently the supply chain management is important to the companies, mainly due to technology advances which have allowed decentralizing several logistics operations. So, we have seen a growing of the third-party logistics providers in the supply chains to perform several operations. These new partners help to reduce the lead time involving the operations and distribution of goods, and keep a good level of service for the customers. Thus, transportation and logistics operations have become important activities to reach the companies' goals. In this context, the logistics platforms arise to give quick answers, however they must be located in strategic points to reduce costs but taking into account tangible and intangibles factors. Then, this paper presents a methodology to locate logistics platforms using geographic information systems and a study case.

Keywords: Logistics platforms, Location, GIS.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Lambert (1998), no início dos anos 80 surgiu na literatura o conceito de cadeia logística ou *Supply Chain Management* (SCM) que rapidamente ganhou ampla aceitação e notoriedade. Sua principal importância está associada à crescente fragmentação dos processos logísticos, impulsionada pelas atividades terceirizadas nos fatores-chaves de uma cadeia de suprimentos: estoque, transporte, e instalações (Chopra e Meindl, 2003). Desde então, percebeu-se um crescimento acentuado da complexidade de várias cadeias de suprimentos como a automobilística, de aparelhos eletrônicos, de computadores, entre outras (Meixell e Gargeya, 2005).

Com o foco na descentralização das atividades, o gerenciamento da cadeia de suprimentos ganhou importância na gestão das empresas, principalmente devido aos avanços tecnológicos na área de logística (Chopra e Meindl, 2003). Essa descentralização propiciou o crescimento dos operadores logísticos que passaram a integrar a cadeia logística das empresas. Estes novos integrantes procuram ajudar a reduzir o tempo de ciclo na operação e distribuição dos produtos, visando o nível de serviço projetado e esperado pelo cliente (Dubke, 2006; Novaes, 2001). Desta maneira, o transporte e as operações logísticas têm-se tornado atividades importantes para se alcançar os objetivos desejados.

Entretanto, as variações de mercado e da infraestrutura logística disponível influenciam nas cadeias de suprimentos que precisam responder rapidamente às mudanças necessárias. Neste contexto, conforme indicado por Dubke (2006), as plataformas logísticas, utilizadas como macro unidades de negócio, e os terminais especializados, como micro unidades de negócio, surgem como uma opção para que a cadeia de suprimentos responda de maneira adequada às variações. Porém, a localização estratégica desses pontos se constitui como fator chave e precisa assim ser bem definida considerando fatores tangíveis (por exemplo, custo fixo de instalação) e intangíveis (por exemplo, medidas ambientais).

A decisão sobre o local mais apropriado para se instalar uma plataforma logística está associada ao que se deseja da cadeia de suprimentos envolvida. A centralização gera economias de escala, já a descentralização torna a cadeia mais responsiva, reduzindo a distância entre os pontos de suprimento e consumo (Oliveira e Correia, 2010; Chopra e Meindl, 2003).

De maneira integrada, as plataformas logísticas devem estar inseridas em uma rede de transportes que pode ser multimodal. A localização de suas posições deve levar em consideração a oferta e a demanda dos produtos aos quais as plataformas logísticas fornecerão apoio logístico. Com isso, além de critérios específicos para a localização das plataformas, devem-se levar em consideração as reduções de custo provenientes do transporte.

Assim, o objetivo geral deste artigo consiste no desenvolvimento de uma metodologia para localização de plataformas logísticas que possa ser utilizada em estudos diversos que integram localização e transporte, utilizando sistemas de informações geográficas (SIG). Para exemplificar a metodologia proposta, se apresenta uma aplicação prática que visa determinar a localização de instalações concentradoras de carga dos grãos sólidos vegetais: soja e milho, a partir dados do Plano Nacional de Logística e Transportes (PNLT) de 2007.

O restante do artigo está assim dividido. Na Seção 2 são apresentados alguns conceitos sobre plataformas logísticas. A Seção 3 apresenta algumas definições sobre localização e ressalta a importância da interface com SIG. A metodologia proposta é apresentada na Seção 4. A Seção 5 mostra uma aplicação prática, e por último a Seção 6 apresenta as conclusões.

2. PLATAFORMAS LOGÍSTICAS

Rosa e Ratton Neto (2005) definem uma plataforma logística como uma área de serviços logísticos, delimitada no território ou não, localizada em um ponto das cadeias

de transporte e logística, a partir do qual podem ser obtidas contribuições importantes da cadeia de valor, por intermédio da prestação de serviços de valor agregado, quer seja através da rede de transporte, da rede de telecomunicações ou apenas serviços pontuais aos agentes envolvidos (usuários, operadores, e clientes), aos veículos e aos equipamentos.

Uma definição mais complexa fornecida pela *European Association of Freight Village – Europlatforms* (www.europlatforms.eu) descreve uma plataforma logística como uma zona delimitada, no interior da qual se exercem, por operadores distintos, todas as atividades relativas ao transporte, à logística e à distribuição de mercadorias, tanto para o mercado nacional, como para o internacional.

A classificação para terminais logísticos proposta por Caldas *et al.* (2009) pode ser utilizada para plataformas logísticas, e sendo assim, plataformas logísticas podem ser classificadas quanto ao modo de transporte (rodoviário, aéreo, ferroviário, portuário, multimodal); quanto à sua abrangência (urbano, regional, intermunicipal, interestadual, internacional) e quanto aos serviços oferecidos (embarque e desembarque, transbordo, armazenagem, beneficiamento, atividades logísticas, serviços aduaneiros).

Sendo assim, as plataformas logísticas devem estar inseridas em uma rede de transportes que pode ser multimodal. Desta maneira, a localização de suas posições deve levar em consideração a oferta e a demanda dos produtos aos quais as plataformas logísticas fornecerão apoio logístico. Desde maneira, além de critérios específicos para a localização das plataformas, devem-se levar em consideração as reduções de custo provenientes do transporte.

3. LOCALIZAÇÃO DE PLATAFORMAS LOGÍSTICAS

Os modelos matemáticos de localização são frequentemente utilizados para determinar os locais ideais para as facilidades. Facilidade ou instalação é um termo genérico utilizado para representar, por exemplo, unidades de emergência, escolas, e também plataformas logísticas. Daskin (2008) apresenta uma descrição classificatória para grupos de modelos de localização que se diferenciam pela forma com que a demanda é distribuída sobre uma área de serviço e o modo como as instalações podem ser localizadas dentro desta área. Essa classificação divide os modelos em analíticos, contínuos, de redes e discretos. Em especial, destacam-se os modelos discretos de localização como o de p-mediana capacitado e o de máxima cobertura, que apresentam elevado grau de dificuldade, mesmo para problemas de pequeno porte, mas que estão associados a diversas aplicações práticas. Para maiores detalhes, veja Daskin (2008).

Ao se considerar as demandas pelos produtos, os locais de produção destes produtos, os possíveis locais candidatos a receberem plataformas logísticas, e uma rede de transporte multimodal, o problema de localização de plataformas logísticas pode ser comparado ao problema de localização de facilidades multi-produto (*multi-commodity facility location problem*) introduzido por Warszawski (1973) *apud* Karkasis e Boffey (1981). A formulação matemática original proposta por Warszawski (1973) não apresenta restrições de capacidade das facilidades. Esta característica foi incorporada um ano depois por Geoffrion e Graves (1974), e a formulação matemática que minimiza os custos de transporte e de instalação e operação das plataformas é assim apresentada:

$$\text{Minimizar } \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L C_{ijkl} x_{ijkl} + \sum_{k=1}^K \left(f_k z_k + v_k \sum_{i=1}^I \sum_{l=1}^L D_{il} y_{kl} \right) \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L x_{ijkl} \leq S_{ij} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^J x_{ijkl} = D_{il} y_{kl} \quad \forall i \in I, k \in K, l \in L \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^K y_{kl} = 1 \quad \forall l \in L \quad (4)$$

$$\underline{V}_k z_k \leq \sum_{i=1}^I \sum_{l=1}^L D_{il} y_{kl} \leq \bar{V}_k z_k \quad \forall k \in K \quad (5)$$

$$x_{ijkl} \geq 0 \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K, l \in L \quad (6)$$

$$y_{kl} \in \{0,1\} \quad \forall k \in K, l \in L \quad (7)$$

$$z_k \in \{0,1\} \quad \forall k \in K. \quad (8)$$

Sendo J um conjunto de locais de produção (ou plantas) de produtos (zonas de produção); K um conjunto de locais potenciais para receberem facilidades; L um conjunto de zonas de clientes que solicitam produtos (zonas de consumo); D_{il} a demanda do produto $i \in I$ pela zona $l \in L$; S_{ij} capacidade de fornecimento do produto $i \in I$ pela planta $j \in J$; \underline{V}_k e \bar{V}_k o volume total mínimo e máximo permitido, respectivamente, passando pela facilidade $k \in K$; f_k o custo fixo para instalar a facilidade $k \in K$; v_k o custo variável associado à facilidade $k \in K$; C_{ijkl} o custo unitário médio de produção e embarque do produto $i \in I$, da planta $j \in J$, utilizando a facilidade $k \in K$, para a zona $l \in L$; x_{ijkl} uma variável que determina o volume do produto $i \in I$, embarcado na planta $j \in J$ que é enviado à zona $l \in L$ via facilidade $k \in K$; $y_{kl} \in \{0,1\}$ uma variável binária de decisão. Se $y_{kl} = 1$, a facilidade $k \in K$ atende à zona $l \in L$, caso contrário $y_{kl} = 0$; e $z_k \in \{0,1\}$ outra variável binária de decisão. Se $z_k = 1$, a facilidade $k \in K$ é aberta, caso contrário $z_k = 0$.

A função objetivo (1) inclui todos os custos e deve ser minimizada. As restrições (2) garantem que toda a quantidade de produtos $i \in I$ embarcada na planta $j \in J$ e recebida pela facilidade $k \in K$ com destino a zona $l \in L$, deve ser menor ou igual à quantidade de produtos $i \in I$ ofertada pela planta $j \in J$. As restrições (3) garantem que toda a quantidade embarcada de todas as plantas $j \in J$ para a facilidade $k \in K$, será igual à demanda da zona $l \in L$, caso seja aberta uma facilidade em $k \in K$ que possa atender à zona $l \in L$. As restrições (4) garantem que somente uma facilidade $k \in K$ servirá a todos os clientes da zona $l \in L$. As restrições (5) garantem que o volume anual de produtos que utilizam a facilidade $k \in K$ está entre os valores mínimo e máximo estipulados para a facilidade. As restrições (6)-(8) são aplicadas aos domínios das variáveis de decisão.

Geoffrion e Graves (1974) aplicaram o modelo matemático (1)-(8) a um problema da cadeia alimentícia com 17 classes de *commodities*, 14 plantas, 45 possíveis locais para receberem facilidades, e 121 zonas de clientes. Os autores utilizaram decomposição de *Benders* para resolver o problema. Existem na literatura diversos trabalhos que expandiram o trabalho de Geoffrion e Graves (1974) para incorporar novas características como Love (1988), Pirkul e Jayaraman (1998), Tang *et al.* (2012) e Goetschalckx (2011). Uma boa revisão sobre problemas de localização pode ser obtida em Klose e Drexl (2005), ReVelle *et al.* (2008), Melo *et al.* (2009) ou em Sirikijpanichkul e Ferreira (2005).

Problemas de localização sofrem influência de vários fatores e com isso, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) podem ser utilizados para auxiliar esta tarefa. Carrara *et al.* (2006) apresentam um trabalho que teve como objetivo localizar terminais logísticos urbanos com uso de ferramentas SIG. Os autores fazem uma aplicação da metodologia apresentada no problema da Cidade de Uberlândia. Segundo os autores, um SIG pode ser definido como uma coleção organizada de *hardware*, *software*, pessoal e dados geográficos, com o objetivo de capturar, armazenar, manipular, atualizar, analisar, mapear os dados espaciais e apresentar as informações referenciadas geograficamente.

Alguns autores como Yeh e Chow (1996), Murray (2003, 2010), Arakaki (2003), e Mapa e Silva (2007), tem destacado a potencialidade dos SIG na solução de problemas de localização de facilidades. O trabalho de Murray (2010) mostra em detalhes as contribuições do SIG na área de localização de facilidades em termos de entrada de dados, visualização, métodos de solução e também teoria.

4. PROPOSTA METODOLÓGICA PARA LOCALIZAÇÃO DE PLATAFORMAS LOGÍSTICAS

A metodologia proposta está dividida em fases, conforme mostra a Figura 1, e cada uma delas é descrita a seguir.

Fase 1: Locais Candidatos para Receberem Plataformas Logísticas. Para realizar a localização de plataformas logísticas em uma rede multimodal, vários fatores tangíveis e intangíveis devem ser levados em consideração. Diversos trabalhos como os de ReVelle *et al.* (1970) *apud* Tondo (1992), Lopez e Henderson (1989), Yang e Lee (1997), Bhatnagar *et al.* (2003), e Caldas *et al.* (2009), apontam fatores conflitantes que influenciam na localização de facilidades como a proximidade às principais vias urbanas, rodovias, ferrovias e hidrovias; disponibilidade de energia, água e telecomunicações; características geográficas e topológicas do local; fatores ambientais; conveniência de sua utilização como fator de desenvolvimento local; impacto na geração de tráfego; produção e consumo; dentre outros.

Sendo assim, a primeira fase da metodologia proposta consiste em definir os possíveis locais para receberem plataformas logísticas por meio de uma análise multicritério.

Fase 2: Análise do Custo de Transporte. Uma vez definido o conjunto de facilidades, uma segunda fase do estudo será desenvolvida que é a análise da redução dos custos de transporte provenientes da fase de localização previamente definida. Pretende-se assim, avaliar se as localizações definidas inicialmente que permitem utilizar de maneira adequada a infraestrutura de transporte disponível para atender a demanda. Nesta fase, um modelo matemático adaptado da formulação (1)-(8) poderá então ser utilizado e resolvido. Em paralelo, estudos sobre redes logísticas (Martel e Vieira, 2010) e sobre impacto do custo do terminal no custo total do transporte (Kim e Wee, 2011) também

devem ser realizados com o objetivo de melhor definir o modelo matemático. A Figura 2 mostra um exemplo da variação do custo de transporte em função da distância, comparando o custo rodoviário com o custo do transporte intermodal incluindo as operações de terminal.

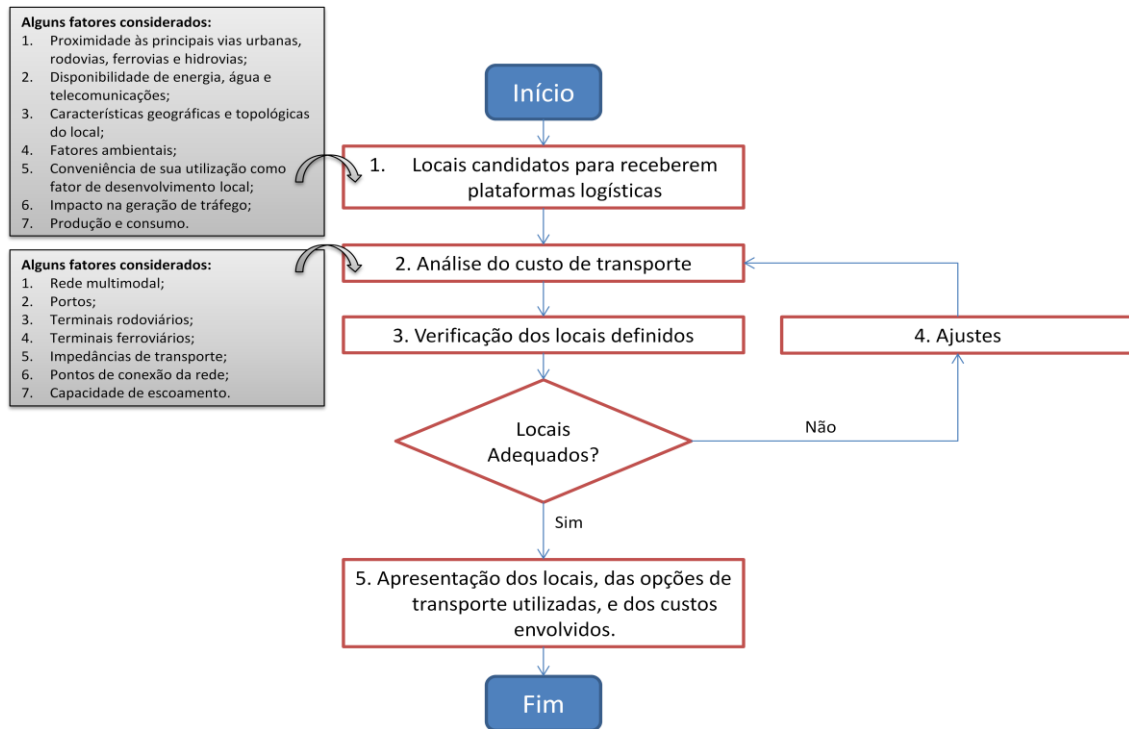


Figura 1 – Metodologia proposta.

Um SIG deve auxiliar na definição dos locais para receberem as plataformas logísticas, bem como na solução dos modelos de localização, se possível. Dependendo da complexidade do modelo matemático de localização, *solvers* comerciais como o CPLEX podem ser utilizados. Se os *solvers* comerciais não forem capazes de resolver o problema em um tempo computacional aceitável, técnicas heurísticas devem ser desenvolvidas com base na literatura disponível.

Fase 3: Verificação dos Locais Definidos. Uma vez resolvido o modelo matemático de localização, as plataformas selecionadas deverão ser analisadas conforme os fluxos projetados, para verificar se existe ou não, fluxos de transporte inadequados. Esta fase é importante para corrigir possíveis problemas na definição dos locais candidatos ou na estrutura da rede multimodal.

Fase 4: Ajuste. Esta fase depende do resultado da Fase 3, e tem como objetivo fazer os ajustes adequados na modelagem matemática utilizada para definir os locais candidatos, e no modelo matemático para análise do custo de transporte.

Fase 5: Apresentação dos locais, das opções de transporte utilizadas, e dos custos envolvidos. Nesta etapa serão avaliados os resultados gerados a partir da aplicação do modelo matemático a partir da apresentação e entendimento da definição dos locais mais adequados, dos modos e rotas de transporte e também dos custos totais. Nesta fase todos os resultados obtidos devem ser apresentados e analisados com o auxílio de um SIG.

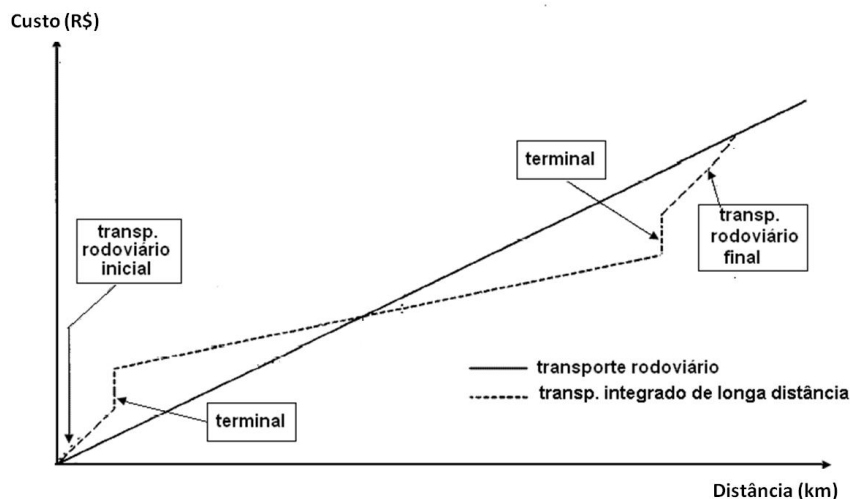


Figura 2 – Estrutura de custos do transporte intermodal e do transporte rodoviário.
 Fonte: Kim e Wee (2011).

5. ESTUDO DE CASO

Com a retomada do planejamento estratégico do sistema logístico e de transportes no Brasil, tanto em termos regionais como no âmbito nacional, verifica-se que os recentes planos de investimentos governamentais nesses setores carecem de um aprimoramento quanto a metodologias científicas que aplicadas promovam indicações de Centros de Integração Logística, ou como dito antes, de instalação e funcionamento de Plataformas Logísticas.

As metas governamentais relacionadas à multimodalidade, visando à redução dos custos de transporte nas cadeias logísticas de produção e suprimento, tanto no mercado interno quanto para o comércio exterior, trata-se de um ponto extremamente relevante cuja concretização depende de ações que sejam voltadas ao estímulo de atividades e serviços que concentrados, estrategicamente, promovam o funcionamento de plataformas logísticas.

Verifica-se um grande número de centros integrados de logística e de plataformas logísticas operando com sucesso no mundo. Até o momento, no entanto, não há nenhum empreendimento que se possa classificar como plataforma logística efetiva, em plena operação no Brasil, pois as iniciativas ainda estão em nível embrionário, na forma de planos, projetos, ou no máximo na fase de preparação do terreno (como é o caso da proposta de Goiás), não permitindo uma avaliação segura.

Muitos governos estaduais no Brasil estão investindo em infraestrutura logística, como forma de atrair empresas para se instalarem nelas ou próximas a elas usufruindo dos benefícios de infraestrutura logísticas e aduaneiras. No caso do Rio Grande do Sul, o Estudo de Desenvolvimento Regional e Logística para o Estado do Rio Grande do Sul (RS) – Projeto Rumos 2015, no seu “Componente 2 – Logística e Transportes” indicou como importante a análise criteriosa das propostas de instalação de plataformas terrestres no estado, classificando-as no decorrer dos trabalhos segundo a metodologia desenvolvida, como centros de integração logística ou plataforma logística a partir dos seus requisitos mínimos e potenciais interessados em operá-las, definindo ainda as etapas de sua implantação e apontando possíveis mecanismos de financiamento.

Assim, nesta seção apresenta-se uma aplicação da metodologia proposta para a localização de Centros de Integração Logística (CIL) no território nacional utilizando os dados da base georreferenciada do Plano Nacional de Logística e Transportes (PNLT), apresentado pelo Ministério dos Transportes em 2007. Para exemplificação, busca-se localizar CILs para os seguintes grãos sólidos vegetais: soja e milho, considerando uma integração rodo-ferroviária.

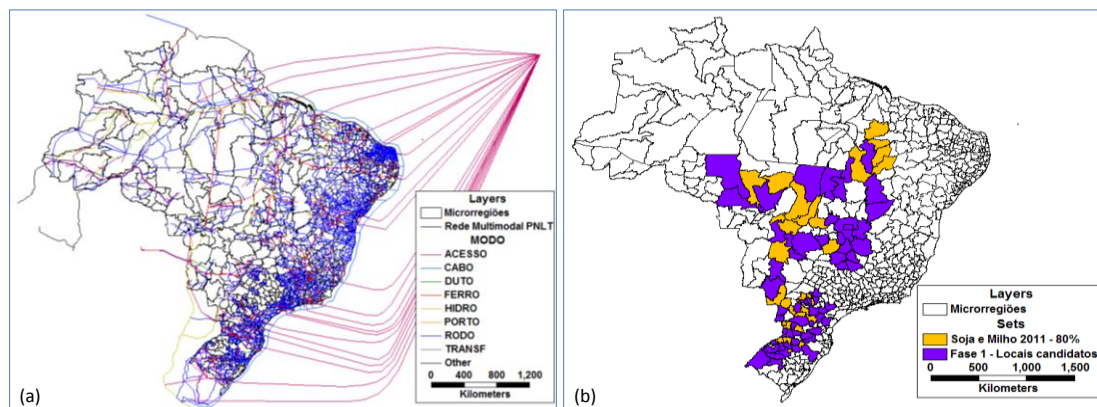


Figura 3 – (a) Base georreferenciada do PNLT e (b) Aplicação da Fase 1 da metodologia.

A base georreferenciada de dados do PNLT possui uma rede multimodal com mais de 16.260 segmentos e 558 microrregiões produtoras, conforme Figura 3(a). Para o ano de 2007, desse total de microrregiões, 255 produzem soja e 553 produzem milho. Do lado do consumo, verifica-se que 54 microrregiões demandam soja e 552 milho.

Aplicando a Fase 1 da metodologia e considerando como relevantes os fatores “Produção”, e “Proximidade a rodovias e ferrovias”, verifica-se que 93 microrregiões são responsáveis por 80% de toda a produção nacional de soja e milho. Com base nesta representatividade, dessas 93 microrregiões, buscou-se, por meio de um SIG, aquelas que possuem pelo menos uma integração rodo-ferroviária em funcionamento ou em fase de projeto com previsão de operação até 2023 (horizonte de planejamento do PNLT). Assim, obteve-se como resultados 61 microrregiões que passaram a integrar o conjunto de locais candidatos a receberem CIL. A Figura 3(b) apresenta o resultado desta fase.

Para a Fase 2 são necessários obter alguns custos unitários, como citado no modelo matemático (1)-(8). Inicialmente, considerou-se que todo o transporte de carga entre um local de produção e um local candidato a receber um CIL utilizaria o modal rodoviário. Por outro lado, do local candidato a receber um CIL até o ponto de demanda, foi considerado que o transporte da carga poderia ser realizado tanto por rodovia e/ou ferrovia. Assim, novamente com o auxílio de um SIG, as distâncias entre todos os pontos (microrregiões de produção, locais candidatos a CIL, e microrregiões de demanda) foram obtidas, e o cálculo do custo unitário de transporte foi realizado utilizando valores de frete rodoviário e ferroviário dados em R\$/ton.km. No caso do transporte rodoviário, utilizou-se os valores de referência do SIFRECA - Sistema de Informações de Fretes publicado pelo Departamento de Economia, Administração e Sociologia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo (ESALQ/USP), e no caso ferroviário, utilizou-se uma metodologia para cálculo de tarifa publicada pela Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT).

Com relação ao custo fixo de instalação de uma Plataforma Logística, utilizou-se um valor constante para todo local candidato bem inferior ao custo de transporte. Com relação ao custo variável de uma facilidade, optou-se por utilizar R\$ 20,00 por tonelada movimentada na Plataforma Logística. Esse valor de referência foi considerado, de forma simplificada, com base em custo de construção recente de terminal rodoviário-ferroviário, considerando a razão entre o total do investimento e a capacidade ano, em toneladas, desse empreendimento.

Esta estratégia permitiu avaliar e estudar o custo de transporte e de movimentação de cargas na Plataforma Logística para definir a localização. Em termos de volume mínimo e máximo movimentado em uma Plataforma Logística, considerou que cada local candidato pudesse movimentar, por produto (soja ou milho), um total de carga entre zero e o volume total produzido pelas microrregiões. Esta estratégia permite, por exemplo, que apenas uma Plataforma Logística seja aberta por que ela terá capacidade de movimentar tudo o que produzido/demandado.

Contudo, essa abordagem pode ser corrigida, considerando como limitante da capacidade da Plataforma, a capacidade de transporte ferroviária ou por uma determinação do projeto de engenharia, que estabelece o máximo de toneladas que uma Plataforma pode movimentar por ano. Esse aspecto, por questões de simplicidade e sob o viés do planejamento tal abordagem não foi considerada na utilização do modelo.

Assim, ainda conforme indicado na Fase 2, um modelo matemático adaptado de (1)-(8) foi utilizado para testes computacionais. Foi introduzido ainda no modelo uma restrição que limita o número máximo de CIL localizados, permitindo a criação de cenários. Os experimentos computacionais foram realizados no CPLEX 12.2 (IBM, 2011) em um computador equipado com Processador Pentium Intel Dual Core de 1.73 GHz com 1.50 GB de Memória RAM, e os resultados estão mostrados na Tabela 1, onde primeira coluna indica o cenário, a segunda o número máximo de CIL a serem instalados, a terceira o tempo computacional utilizado pelo CPLEX, e por último a quarta coluna apresenta as microrregiões selecionadas.

Tabela 1 – Resultados obtidos com o CPLEX.

Cenário	Número máximo de CIL	Tempo (s)	Microrregiões escolhidas para receberem CIL
1	2	1.095,42	1. Sudoeste de Goiás (GO); 2. Canoinhas (SC)
2	3	5.609,19	1. Sudoeste de Goiás (GO); 2. Canoinhas (SC); 3. Rondonópolis (MT)
3	4	2.090,87	1. Sudoeste de Goiás (GO); 2. Canoinhas (SC); 3. Rondonópolis (MT); 4. Toledo (PR)
4	5	704,28	1. Sudoeste de Goiás (GO); 2. Canoinhas (SC); 3. Rondonópolis (MT); 4. Toledo (PR); 5. Uberlândia (MG)
5	6	1.068,34	1. Sudoeste de Goiás (GO); 2. Canoinhas (SC); 3. Rondonópolis (MT); 4. Toledo (PR); 5. Uberlândia (MG); 6. Barreiras (BA)
6	7	976,07	1. Sudoeste de Goiás (GO); 2. Canoinhas (SC); 3. Rondonópolis (MT); 4. Toledo (PR); 5. Uberlândia (MG); 6. Barreiras (BA); 7. Passo Fundo (RS)
7	8	493,35	1. Sudoeste de Goiás (GO); 2. Canoinhas (SC); 3. Rondonópolis (MT); 4. Toledo (PR); 5. Uberlândia (MG); 6. Barreiras (BA); 7. Passo Fundo (RS); 8. Londrina (PR);
8	9	210,80	1. Sudoeste de Goiás (GO); 2. Canoinhas (SC); 3. Rondonópolis (MT); 4. Toledo (PR); 5. Uberlândia (MG); 6. Barreiras (BA); 7. Passo Fundo (RS); 8. Londrina (PR); 9. Entorno de Brasília (GO)
9	10	195,80	1. Sudoeste de Goiás (GO); 2. Canoinhas (SC); 3. Rondonópolis (MT); 4. Toledo (PR); 5. Uberlândia (MG); 6. Barreiras (BA); 7. Passo Fundo (RS); 8. Londrina (PR); 9. Entorno de Brasília (GO); 10. Dourados (MS)

Com os resultados da Tabela 1, verifica-se que à medida que se aumento o número máximo possível de Plataformas, existe uma fixação de determinadas microrregiões. Por exemplo, observe que duas microrregiões são selecionadas no Cenário 1 (Sudoeste de Goiás-GO e Canoinhas-SC) e permanecem aparecendo nos demais cenários analisadas. Considerando que agregações de valor ao produto podem ser realizadas nas Plataformas Logísticas, esta fixação de alguns locais pode indicar priorizações de investimentos para avaliação das mesmas. A Tabela 1 faz parte das Fases 4 e 5 da metodologia. Por último, apenas para exemplificação de um possível resultado da Fase 5, a Figura 4 apresenta as microrregiões selecionadas para o Cenário 4.

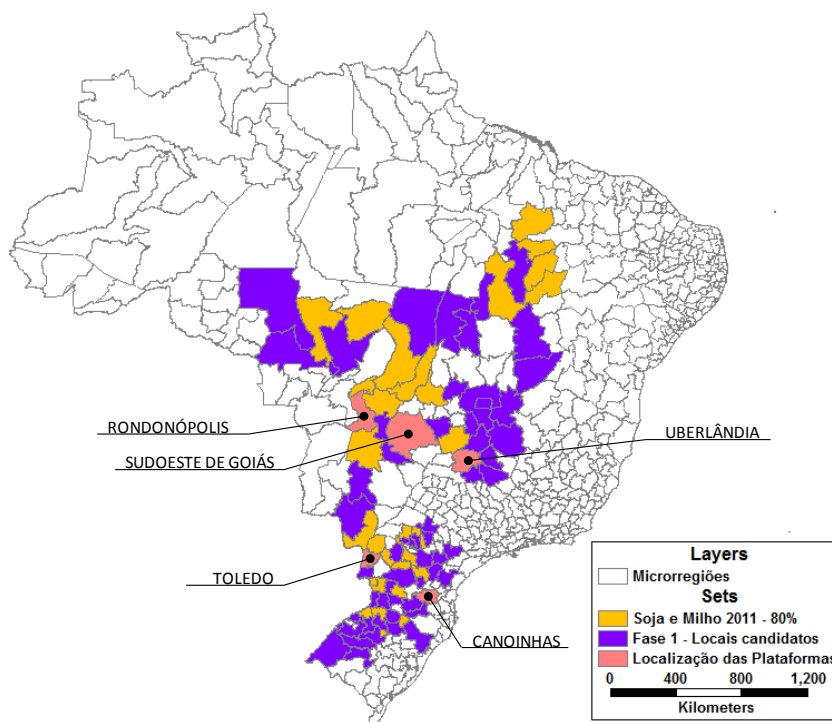


Figura 4 – Resultado da localização para o Cenário 4.

6. CONCLUSÕES

Este artigo buscou apresentar uma metodologia para localização de plataformas logísticas com o auxílio de um sistema de informações geográficas. De maneira geral, a metodologia proposta é composta de cinco fases, sendo que as duas primeiras são decisivas para a determinação dos locais ideais para receberem as plataformas logísticas.

Uma aplicação prática para localização de centros de integração logística foi realizada para exemplificar o uso da metodologia. Em especial, foram utilizados os dados de dois produtos (soja e milho) e a rede multimodal brasileira do Plano Nacional de Logística e Transportes (PNLT) de 2009. Mesmo com uma grande rede multimodal (mais de 16 mil segmentos), com um número considerável de locais de produção e consumo (mais de 500), e com 61 locais candidatos a receberem facilidades, foi possível fazer algumas análises com os resultados ótimos do CPLEX. Entretanto, cabe ressaltar que se o número de produtos e de locais candidatos aumentarem, *solvers* comerciais de otimização, como CPLEX, podem não ser mais adequados, e assim, métodos aproximativos, como heurísticas e metaheurísticas, devem ser utilizados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arakaki, R.G.I. *Heurística de localização-alocação para problemas de localização de facilidades*. Tese de Doutorado em Computação Aplicada, INPE, São Paulo, 2003.
- Bhatnagar, R., Jayram, J., Phua, Y.C. Relative importance of plant location factors: a cross national comparison between Singapore and Malaysia. *Journal of Business Logistics* 24, 147-170, 2003.
- Brasil. *Programa de Aceleração do Crescimento – PAC*. Secretaria do Programa de Aceleração do Crescimento, Governo Federal. 2009.
- Caldas, M.A.F., Mello, J.C.C.B.S., Meza, L.A., Azevedo, F. Uso do método de Copeland hierárquico para localização de terminal multimodal de cargas. In: *XXIII ANPET - Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, Vitória, 2009.
- Carrara, C.M., Aguiar, E.M., Faria, C.A. Localização de terminais logísticos urbanos com uso de ferramentas SIG: aplicação à cidade de Uberlândia. In: *XX ANPET - Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, Brasília, 2006.
- Chopra, S., Meindl. *Gerenciamento da cadeia de suprimentos*. São Paulo: Prentice Hall, 2003.
- Confederação Nacional do Transporte - CNT. *Plano CNT de Transporte e Logística 2011*. CNT, Brasília, 2011, 370p.
- Daskin, M.S. What you should know about location modeling. *Naval Research Logistics* 5, 283-294, 2008.
- Dubke, A.F. *Modelo de localização de terminais especializados: um estudo de caso em corredores de exportação da soja*. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção, PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2006.
- Geoffrion, A.M., Graves, G.W. Multicommodity distribution system design by benders decomposition. *Management Science* 20, 822-844, 1974.
- Goetschalckx, M. Supply chain models. In: *Supply Chain Engineering: International Series in Operations Research & Management Science*. Springer, 521-613, 2011.
- IBM. Solver CPLEX 12.2. *User's Guide*. 2011.
- Karkasis, J., Boffey, T. B. The multi-commodity facilities location problem. *The Journal of the Operational Research Society* 32, 803-814, 1981.
- Kim, N.S., Wee, B.V. The relative importance of factors that influence the break-even distance of intermodal freight transport systems. *Journal of Transport Geography*, 19, 859–875, 2011.
- Klose, A., Drexler, A. Facility location models for distribution system design. *European Journal of Operational Research* 162, 4-29, 2005.
- Lambert, D.M. Supply chain management: implementation issues and research opportunities. *International Journal of Logistics Management* 9, 1-19, 1998.
- Lopes, R.A., Henderson, N.R. The determinants of location choices for food processing plants. *Agribusiness* 5, 619-632, 1989.
- Love, R.F., Morris, J.G., Wesolowsky, G.O. *Facilities location: models and methods*, North Holland, 1988.
- Meixell, M.J., Gargeya, V.B. Global supply chain design: a literature review and critique. *Transportation Research Part E* 41, 531-550, 2005.
- Mapa, S.M.S., Lima, R.S. Análise do desempenho de um sistema de informações geográficas em problemas de localização de instalações. In: *XXI ANPET - Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes*, Rio de Janeiro, 2007.
- Martel, A. Vieira, D.R. *Análise e projeto de redes logísticas*. São Paulo: Saraiva, 2010.

- Melo, M.T., Nickel, S., Saldanha-da-Gama, F. Dynamic multi-commodity capacitated facility location: a mathematical modeling framework for strategic supply chain planning. *Computers & Operations Research* 33, 181-208, 2006.
- Ministério dos Transportes. Plano Nacional de Logística e Transportes – PNL. Relatório Executivo. Brasília: Secretaria de Política Nacional de Transportes, 2009.
- Murray, A.T. Site placement uncertainty in location analysis. *Computers, Environment and Urban Systems* 27, 205-221, 2003.
- Murray, A.T. Advances in location modeling: GIS linkages and contributions. *Journal of Geographical Systems* 12, 335-354, 2010. DOI: 10.1007/s10109-009-0105-9
- Novaes, A. G. *Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição: estratégia, operação e avaliação*. Rio de Janeiro: Campus, 2001.
- Oliveira, L. K., Correia, V. A. Metodologia para determinação da localização e dimensionamento de terminais logísticos integrados. XVI PANAM, Lisboa – Portugal, 2010.
- Pirkul, H.; Jayaraman, V. A multi-commodity, multi-plant, capacitated facility location problem: formulation and efficient heuristic solution. *Computers & Operations Research* 25, 869-878, 1998.
- ReVelle, C.S., Eiselt, H.A., Daskin, M.S. A bibliography for some fundamental problem categories in discrete location science. *European Journal of Operational Research* 184, 817-848, 2008.
- Rosa, D.P., Ratton Neto, H.X. Plataformas logísticas no Brasil: ampliação de funções e de agregação de valor no entorno dos terminais de transporte. In: ANPET - Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. Recife, 1843-1854, 2005.
- Secretaria do Planejamento e Gestão do Estado do Rio Grande do Sul – SEPLAG. *Estudo de Desenvolvimento Regional e Logística para o Estado do Rio Grande do Sul – Projeto RumoS 2015*. Componente 2 – Logística e Transportes. Junho, 2006.
- Sirikijpanichkul, A., Ferreira, L. Multi-Objective Evaluation of Intermodal Freight Terminal Location Decisions. In: *Proceedings of the 27th Conference of Australian Institute of Transport Research (CAITR)*, Queensland University of Technology, 7-9 December 2005.
- December 2005. Tang, L., Jiang, W., Saharidis, G. K. D. An improved benders decomposition algorithm for the logistics facility location problem with capacity expansions. *Annals of Operations Research* 6, 1-26, 2012. doi:10.1007/s10479-011-1050-9.
- Tondo, C.M. *Um modelo para a localização estratégica de terminais de contêineres no interior: aplicação no Estado de São Paulo*. Tese de Doutorado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.
- Warszawski, A.; Multi-dimensional location problems. *Operations Research Quarterly* 24, 165-179, 1973.
- Yang, J., Lee, H. A AHP decision model for facility location selection. *Facilities* 15, 241-254, 1997.
- Yeh, A.G., Chow, M.H. An integrated GIS and location-allocation approach to public facilities planning: an example of open space planning. *Computers, Environment and Urban Systems* 20, 339-350, 1996.

Beatriz Berti da Costa (beacosta@hotmail.com)
 Carlos David Nassi (nassi@pet.coppe.ufrj.br)
 Programa de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
 Glaydston Mattos Ribeiro (glaydstonribeiro@ceunes.ufes.br)
 Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Universitário Norte do Espírito Santo.
 Rua Senador Eusébio, 20 / 201 bloco 2 – CEP 22.250-080 – Rio de Janeiro, RJ.