

LOCALIZAÇÃO DE INFRAESTRUTURAS, UMA DECISÃO ESTRATÉGICA EM TERRITÓRIO INSULAR

A. Frias¹, J. Cabral²

¹ silva.frias@marinha.pt, Instituto Superior de Economia e Gestão da Universidade Técnica de Lisboa, Portugal

² jcabral@uac.pt, Centro de Matemática Aplicada e Tecnologias de Informação da Universidade dos Açores, Portugal

RESUMO

Como é apresentado em Casaca e Marlow (2005), o surgimento do mercado global com consumidores que exigem rapidez, qualidade de serviços e respeito pelo meio ambiente veio ditar a alteração dos paradigmas instituídos. Assiste-se à integração interna e externa das cadeias de abastecimento e à aposta em processos respeitadores do meio ambiente e das preocupações sociais dos seus clientes, tornando-se sustentáveis.

A dispersão geográfica da cadeia de abastecimento implica custos acrescidos de gestão e armazenagem assim como o aumento do tempo de satisfação de encomendas, ver Lorentz *e al.* (2012). No caso das ilhas, a dispersão da cadeia de abastecimento não é uma opção mas antes uma imposição. As ilhas, enquanto pequenos territórios isolados, apresentam especificidades económicas, sociais e ambientais próprias. Por exemplo, Briguglio (1995) e Zsigraiova *e al.* (2009) consideram que a recolha e tratamento de resíduos nas ilhas assume grande relevância económica, social e ambiental, uma vez que representa uma fonte de receita pelo reaproveitamento de matérias-primas, energia ou reutilização dos bens, minimizando assim a dependência de recursos do exterior e um custo acrescido com a operação de recolha e tratamento, bem como existe a necessidade de cumprir as normas legais em vigor. A recolha e tratamento de resíduos integram diversos pontos críticos, como sejam o transporte, armazenamento e processamento.

Pela sua crescente influência na *performance* da generalidade dos setores da economia, Crainic e Laporte (1997) veem o transporte de carga como uma das atividades com maior relevância. Sendo que, segundo Owen e Daskin (1998), a localização de instalações ou infraestruturas é um fator crítico para a maioria das organizações públicas ou privadas e segundo Chaabane *e al.* (2012), o processo de decisão da sua localização insere-se no âmbito estratégico e quando se situa em espaço insular deve atender às suas especificidades de sustentabilidade específicas.

Com o objetivo de analisar a configuração da cadeia logística inversa implementada para a recolha e tratamento de resíduos, no que concerne à localização das suas infraestruturas Frias (2011) realizou estudo de dados secundários referentes à recolha de pneus usados na ilha de S^o. Miguel. Após realizar a aglomeração geográfica dos pontos de recolha, aplicou um modelo de localização de infraestruturas, tendo avaliado a solução implementada assim como diversos cenários alternativos. Os resultados obtidos pelos diversos cenários criados vão ao encontro das expectativas empíricas e apesar de não corroborarem a solução implementada como ótima, para o caso de um centro de recolha, consideram-na aceitável.

A otimização da rede de transportes pela correta localização das infraestruturas que a compõem permite minimizar os custos económicos, os impactes sociais e as emissões poluentes provocados pelos meios de transporte ou pelas condições de armazenagem dos resíduos. O modelo obtido é adequado ao estudo realizado, passível de aplicação a outras situações concretas e de expansão a um universo mais abrangente.

Palavras-chave: ilhas, localização de infraestruturas, resíduos, sustentabilidade, transportes

1. Introdução

O surgimento do mercado global e consumidores que exigem rapidez, qualidade de serviços e respeito pelo meio ambiente veio ditar a alteração dos paradigmas instituídos. Como foi apontado por Casaca e Marlow (2005), assiste-se à integração interna e externa das cadeias de abastecimento e à aposta em processos respeitadores do meio ambiente e das preocupações sociais dos seus clientes, tornando-se sustentáveis.

O forte incremento da produção e do consumo, com o conseqüente acervo na produção de resíduos, conjugado com a procura de recuperação de valor, da obrigatoriedade do cumprimento de legislação cada vez mais rigorosa e a imposição de atender às exigências corporativas de âmbito social e ambiental, vieram motivar o desenvolvimento da logística inversa, como é referido em De Brito e Dekker (2003). Neste sentido, assume primordial relevância a existência de políticas integradas de gestão de resíduos, com o objetivo de minimizar a quantidade e perigosidade dos resíduos assim como implementar um processo de maximização das quantidades recuperadas para valorização. Com a publicação, no ano de 2001, de legislação nacional específica sobre a gestão dos pneus e pneus usados, Portugal transpôs para o território nacional os princípios emanados pela União Europeia e atribuiu especial destaque a este tipo de resíduo.

As especificidades de um território isolado, como é o caso de uma ilha, traduzem-se numa especial relevância que tem de ser dada à recolha e tratamento de resíduos. Por outro lado, a dispersão geográfica da cadeia de abastecimento, condição existente num aglomerado insular, implica custos acrescidos de gestão e armazenagem assim como o aumento do tempo, que tem de existir, na satisfação de encomendas, como pode ser comprovado em Lorentz *e al.* (2012).

Considerando a importância da rede de transporte e a localização das suas infraestruturas, existe necessidade de obter melhorias de performance na cadeia de abastecimento inversa. Este ditame levou os autores a realizarem o estudo da configuração da cadeia logística inversa implementada na ilha de São Miguel, situada no arquipélago dos Açores, dirigida para a recolha e tratamento dos pneus usados, mais especificamente à localização das suas infraestruturas. Este trabalho multidisciplinar veio contribuir para o melhor conhecimento do sistema de recolha e tratamento dos pneus usados existente na ilha, desenvolvendo os autores um modelo de localização de infraestruturas inovador, assim como uma ferramenta informática que permite analisar a eficiência da localização em redes comparáveis com as do estudo. Tomando por base os resultados obtidos no estudo, os autores elaboraram uma proposta concreta de melhoria da eficiência do atual sistema, em 2013, e analisam as possíveis razões do envio de pneus usados, gerados nos Açores, exclusivamente para valorização energética.

2. A ESPECIFICIDADE DAS ILHAS

Para a maioria das pessoas as ilhas são sinónimo de paraíso, lugares idílicos onde se pode descansar e desfrutar a natureza no seu melhor. No entanto, segundo Matas (1997), este é um conceito que está desfasado da realidade. Como afirma Baldacchino (2008), as ilhas não são continentes mais pequenos, são territórios remotos limitados por água, com propensão para sofrer choques externos, relativa escassez de recursos, noção ampliada por Adrianto e Matsuda (2002) pela afirmação de que estes territórios estão, especialmente, expostos a desastres naturais.

Na Conferência sobre Desenvolvimento e Meio Ambiente do Rio de Janeiro, ocorrida em 1992, no contexto da Agenda 21 (Capítulo 17 G), as Nações Unidas reconheceram os Pequenos Estados Insulares em Desenvolvimento (SIDS - *Small Island Developing*

States) como um grupo diferenciado de países que enfrentam vulnerabilidades sociais, económicas e ambientais específicas. Como é afirmado por Briguglio (1995) e Adrianto e Matsuda (2002), as pequenas ilhas e SIDS, enquanto pequenos territórios isolados, apresentam desvantagens económicas em virtude do seu pequeno tamanho, insularidade, isolamento, propensão para a ocorrência de desastres naturais e fatores ambientais que se podem extremar sem aviso prévio. Os constrangimentos que enfrentam estes territórios referem-se à disponibilidade de uma base limitada de recursos, privando-os dos benefícios de economias de escala; pequenos mercados domésticos e forte dependência de alguns mercados externos e remotos; elevados custos para a energia, infraestrutura, transporte, comunicações e manutenção; longas distâncias dos mercados de exportação e de importação de recursos; baixos e irregulares volumes de tráfego internacional; pouca resistência a desastres naturais; populações em crescimento; alta volatilidade do crescimento económico; poucas oportunidades para o setor privado e uma grande dependência do seu setor público; e ambientes naturais frágeis. Do ponto de vista económico, Adrianto e Matsuda (2002) consideram que as pequenas ilhas apresentam características distintivas, nomeadamente: poucas opções de desenvolvimento económico e ambiental sustentado; a prestação de serviço público é cara; os recursos humanos são escassos; grande parte do desenvolvimento económico deve-se a intervenção externa.

A dispersão geográfica implica a dispersão da cadeia de abastecimento das empresas insulares, seja na obtenção de recursos ou na procura de mercados para escoamento dos seus produtos. No estudo realizado por Lorentz *et al.* (2012), verificou-se que o aumento da dispersão geográfica da cadeia de abastecimento aumenta o tempo para concretização do processo de satisfação das encomendas, sendo que a montante resulta em maiores custos de armazenagem e de gestão. A jusante, no aumento de custos de inventário, dias de inventário de produto acabado, tendendo o tempo de recebimento para o aumento. Ao invés, o aumento da dispersão da rede de produção reduz o tempo de satisfação das encomendas. Outro fator decorrente da dispersão geográfica é o aumento da complexidade das cadeias de abastecimento, com todos os inconvenientes que esta acarreta, facto já justificado por Lorentz *et al.* (2012). Assim, as empresas insulares têm de considerar, na sua operação, antecipadamente os inconvenientes decorrentes da dispersão geográfica da sua cadeia de abastecimento.

Numa era de tecnologias que permite a existência do mercado global, a proximidade depende cada vez menos da distância física e cada vez mais de fatores cognitivos como a proximidade institucional, organizacional ou social. Apesar desta realidade, como afirma Hall e Jacobs (2010), continua a existir laços de proximidade em diversas regiões que lhes permitem manter uma supremacia económica. Os meios de transporte modernos possibilitam uma maior conectividade das ilhas com o resto do mundo, retirando preponderância aos limites geográficos. No entanto, como argumenta Deschenes e Chertow (2004), os meios de transporte não eliminam esse isolamento, subsistindo limitações técnicas, temporais e de custos.

Como é afirmado em Baldacchino (2008), a mera existência, ou melhoria, das infraestruturas de transporte não garante o progresso social e económico. Assim, poder-se-á dizer que apesar de a tecnologia atenuar a distância física - no caso de ilhas referimo-nos à sua distância física - a distância cultural, socioeconómica, entre outras continuam a ser um fator de distanciamento em relação ao que ocorre em território continental.

3. REDE DE TRANSPORTES

De acordo com Terry (1996), referenciado por Casaca e Marlow (2005), a forma como as empresas europeias conduzem a sua logística tem vindo a alterar, constatando-se a integração interna e externa da cadeia de abastecimento, assim como a sua expansão geográfica. Em consequência, assiste-se à procura do *outsourcing* como estratégia de focagem no *core business*, obtenção de capacidade de adaptação e flexibilidade para responder a mercados mais ágeis, assim como à centralização da produção e armazenagem. Esta tendência, segundo Casaca e Marlow (2005), implica uma crescente necessidade de transportes com consequentes impactos negativos ao nível de emissão de poluentes, consumo de energia e congestionamento rodoviário.

Pela sua crescente influência na *performance* da generalidade dos setores da economia, Crainic e Laporte (1997) veem o transporte de carga como uma das atividades com maior relevância. Em Owen e Daskin (1998) conclui-se que a localização de instalações ou infraestruturas é um fator crítico para a maioria das organizações públicas ou privadas, Chaabane *e al.* (2012) reforçam que o processo de decisão da sua localização insere-se no âmbito estratégico e quando se situam em espaço insular, Frias (2011), devem atender às especificidades de sustentabilidade das ilhas.

Segundo Chaabane *e al.* (2012), o planeamento estratégico compreende decisões relativas à configuração da cadeia de abastecimento, como a localização de infraestruturas, capacidades e recursos a utilizar, desenvolvimento de novos produtos ou a seleção de produtos pós-uso. Incluem-se igualmente no planeamento estratégico as decisões de funcionamento associadas à definição dos fluxos de produtos, planeamento de inventários, configuração dos transportes do circuito direto e inverso ou o reprocessamento dos produtos retomados. Em Morales-Fusco *e al.* (2012), vemos que as empresas, que têm necessidade de transportar pequenos volumes em espaços geográficos alargados, tendem a contratar os serviços de empresas de transporte. A decisão de escolha do transportador pode incidir em diversos fatores como o tempo necessário ao transporte, o custo total, a perceção de qualidade, benefícios de escala, força do hábito e resistência à mudança.

Na apreciação do Comité das Regiões, EU-CoR (2002), da Comissão para a Coesão Territorial da União Europeia, relativa ao livro branco para a política de transportes europeus para 2010, considera que são benéficas as políticas de promoção de uma rede de transportes que seja mais sustentável, flexível, versátil e rápida do que a rede rodoviária existente em 2002. Esta iniciativa não deveria marginalizar as regiões isoladas por não poderem beneficiar de decisões políticas tomadas com base na generalidade, tomando como referência território contínuo continental. Neste sentido, é acolhida favoravelmente a proposta de revisão das normas referentes à concessão de apoio estatal a zonas que tenham particulares dificuldades de transportes face ao seu isolamento, como é o caso das ilhas. Um dos casos concretos identificados é a necessidade de proteção do transporte aéreo que serve zonas isoladas, zonas ilha, não beneficiadas pela construção de linhas ferroviárias de alta velocidade.

Os transportes são um importante suporte da atividades humana, Crainic e Laporte (1997), possibilitando o convívio social, o funcionamento da economia e todo o tipo de trocas. Os mesmos autores consideram que o transporte de carga é uma das atividades com maior importância, pelo seu contributo para a produção nacional bruta dos diversos países. No dia-a-dia do cidadão a relevância dos transportes é possível de aferir pelo facto de constituir uma forma de avaliação da economia, que contribui de forma significativa para o preço da maioria dos produtos.

A procura de eficiência pelos diversos setores da economia vieram ditar menores níveis de inventário, procura *just-in-time*, disponibilização de mais serviços aos seus clientes e

maior controlo da qualidade, usando-se modelos gestão de informação mais eficientes. Estas alterações vieram exigir da indústria dos transportes maior rapidez, fiabilidade, baixo custo e um mais amplo nível de serviços.

O setor dos transportes, segundo Crainic e Laporte (1997), gera uma atividade complexa com múltiplos atores, havendo necessidade de responder a um mercado ágil, com diversos níveis de decisão e que requer investimentos intensivos de longo prazo, pelo que é necessário dispor de métodos e ferramentas de apoio ao planeamento e processo de decisão.

Nos sistemas de transportes é possível identificar três níveis de planeamento: estratégico, tático e operacional. As decisões estratégicas, ou de longo prazo, determinam as políticas gerais e a definição dos planos de funcionamento do sistema, sendo exemplo o desenho e evolução da rede, a localização das principais infraestruturas, a política de aquisição de recursos, a definição do nível de serviços a obter externamente ou a política de preços. O planeamento tático visa garantir, num horizonte de médio prazo, uma alocação eficiente e racional dos recursos existentes, tendo a finalidade de melhorar o desempenho de todo o sistema. Temos como principais atividades a escolha de rotas e tipo de serviços prestados; a definição das regras gerais de funcionamento de diversas estruturas e a reposição, e alocação de meios ou o planeamento das atividades do período seguinte. No planeamento operacional, ou de curto prazo, é desenvolvida a administração local num ambiente altamente dinâmico onde o tempo é um fator crítico. Neste nível são desenvolvidas tarefas de agendamento, identificação de equipas, alocação de recursos ou calendarização de atividades de manutenção. Poderemos verificar de forma mais detalhada a descrição destes três níveis de planeamento em Crainic e Laporte (1997).

Assim, segundo Crainic e Laporte (1997), e considerando a dinâmica do meio envolvente, as principais questões que devem ser colocadas em relação às alterações do sistema de transportes são: quais são os impactos na performance do sistema ocasionados pela modificação da infraestrutura? – De modo geral esta questão faz parte das análises de custo-benefício; em que medida a evolução da procura afeta a utilização do sistema? - Esta evolução pode ser vista em termos de volume, distribuição espacial ou composição; quais os impactes das políticas governamentais ou da indústria? - Estas políticas podem estar relacionadas com a definição de regras aduaneiras, legislação sobre importação de energia, imposição de portagens rodoviárias ou regras reguladoras do transporte de substâncias.

4. QUADRO CONCEPTUAL

A evolução legislativa tem criado regras e obrigações legais cada vez mais restritivas e com maiores preocupações ambientais. Da análise das diretivas da União Europeia, que delineiam a gestão de resíduos a nível comunitário, Barroso e Machado (2005) consideram que estas têm como objetivos primordiais a prevenção na criação de resíduos, o seu correto tratamento com recurso à reutilização, reciclagem e outras formas de valorização dos resíduos e a minimização dos riscos ambientais decorrentes do seu tratamento e eliminação. Pretendem igualmente harmonizar as diversas atividades nacionais, em matéria de gestão de resíduos, para assim assegurar o bom funcionamento do mercado interno. A política ambiental comunitária baseia-se no princípio do poluidor/pagador e no princípio da prevenção e correção dos danos causados ao ambiente. A nível nacional e regional verifica-se a existência de edifício legal abrangente e atual, que define os princípios gerais de respeito pelos consumidores e pelo meio ambiente. Para uma informação mais detalhada sobre estes princípios podemos consultar a síntese efetuada em Frias (2011) sobre o assunto.

Indo ao encontro das obrigações legais e corporativas, foi implementado em Portugal o Sistema Integrado de Gestão de Pneus Usados (SGPU), o qual assenta num modelo centralizado, onde o centro de decisão se encontra na entidade gestora. Este tipo de organização potencia a coordenação e a otimização dos diversos recursos disponíveis, possibilitando a obtenção de ganhos de eficiência (Valorpneu, 2013).

5. A LOGÍSTICA INVERSA E OS PNEUS USADOS NA ILHA DE SÃO MIGUEL

Como é justificado em Frota-Neto *e al.* (2008), o resultante da integração dos três pilares da sustentabilidade nas decisões associadas à conceção da cadeia de abastecimento é o surgimento de uma nova abordagem que enfatiza a necessidade de uma conceção sustentável da cadeia de abastecimento, indo de encontro ao que é defendido por Chaabane *e al.* (2012), que segundo esta linha de pensamento, a adoção de uma metodologia que tenha em consideração a avaliação do ciclo de vida erige o sucesso da cadeia de abastecimento sustentada ao longo do tempo.

Com o objetivo de analisar a configuração da cadeia logística inversa implementada para a recolha e tratamento dos pneus usados, no que concerne à localização das suas infraestruturas, desenvolvemos o estudo do caso aplicado à ilha de São Miguel. Para o efeito foram testadas as seguintes hipóteses:

Hipótese 1: Será que a atual localização do ponto de recolha é a que permite uma maior eficiência da rede implementada?

Hipótese 2: Será que a existência de dois pontos de recolha traria ganhos de eficiência ao atual sistema? Quais as suas localizações geográficas?

Hipótese 3: Existem condições para que ao nível da ilha de São Miguel sejam cumpridas as quotas nacionais legalmente estabelecidas, para a valorização dos pneus recolhidos e não recauchutados?

Ao testar a hipótese 1 e hipótese 2 obtivemos a localização do ponto de recolha, mínimo das distâncias totais percorridas, e por consequência a solução que envolve menor custo. Para o efeito foi considerado o modelo das *p*-medianas com nós quantificados, com a função objetivo (1).

$$\text{Min} \left\{ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n v_j d_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^n a w_i d_i y_i \right\} \quad (1)$$

Implementamos na função (1) as restrições (2), (3), (4), (5) e (6).

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad j = 1, \dots, n \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n y_i = p \quad (3)$$

$$x_{ij} \leq y_i \quad i, j = 1, \dots, n, \quad i \neq j \quad (4)$$

$$x_{ij}, y_i \in \{0,1\} \quad i, j = 1, \dots, n \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^n v_j x_j = w_i \quad i = 1, \dots, n \quad (6)$$

Para uma melhor perceção da função objetivo e respetivas restrições apresentamos a descrição das variáveis usadas.

- i - Potenciais localizações do(s) centro(s) de recolha, corresponde às linhas da matriz;
- j - Centros detentores de pneus usados, corresponde às colunas da matriz;
- v_j - Quantidade de pneus movimentados por cada interveniente/nó, em toneladas;
- w_i - Quantidade de pneus movimentados por cada centro de recolha, em toneladas;
- d_{ij} - Distância entre os vértices j e i ;
- p - O número conhecido ou pretendido de centros de recolha (vértices) a serem selecionados para medianas;
- a - Percentagem do custo do transporte em contentor, por comparação com o custo do transporte efetuados pelos detentores.
- x_{ij} - É uma matriz de afetação, quadrada de ordem n , tal que $x_{ij} = 1$, se o vértice j é servido por um centro localizado no vértice i e $x_{ij} = 0$, caso contrário;
- y_i - O elemento y_i é uma variável discreta que assume o valor um quando a mediana está localizada no vértice i e o valor zero, caso contrário.

A inclusão da expressão $\sum_{i=1}^n a w_i d_i y_i$ na função objetivo (1), prende-se com a necessidade considerar, relativamente ao nosso estudo, a distância e a quantidade de pneus movimentados entre os p vértices selecionados como medianas e o local de receção da entidade transportadora que assegura a sua movimentação para o território continental.

Com base nos dados obtidos junto da empresa gestora do SGPU foi gerada a matriz das distâncias. Por ser demasiado grande para ser colocada neste artigo, resolvemos omiti-la, mas esta pode ser consultada em Frias (2011:72). Analisando a matriz das distâncias, verificou-se a existência de 23 valores inferiores a 0,5 quilómetros. Considerando que a distância média é de cerca de 10 quilómetros, e que muitos desses detentores de pneus usados tinham um peso reduzido, correspondendo a pequenas oficinas situadas em aglomerados habitacionais ou zonas industriais, esses pares de detentores foram transformados, no nosso estudo, num único ponto geograficamente intermédio com o peso correspondente à soma dos pontos iniciais. Com esta operação conseguiu-se eliminar 23 nós, transformando a matriz das distâncias, que inicialmente tinha uma ordem 67, para uma ordem 44. Essa simplificação traduziu-se numa substancial redução da complexidade dos cálculos a efetuar. Este decréscimo de complexidade permitiu a resolução de um problema que a literatura classifica como *NP-Hard*, que podemos encontrar em Kariv e Hakimi (1979), usando o programa *Microsoft Office Excel 2007* dotado do suplemento *Risk Solver Platform V10.0*.

O modelo foi calculado para uma e duas medianas, $p=1$ e $p=2$, respetivamente, possibilitando assim resposta às duas primeiras hipóteses.

Considerando os resultados obtidos, pode afirmar-se que no caso de uma mediana, relacionado com a primeira hipótese, o ponto médio ponderado pelos pesos dos diversos nós, situa-se na área urbana da cidade de Ponta Delgada e dista do atual centro de recolha em 2,1km, como podemos observar na figura 1.

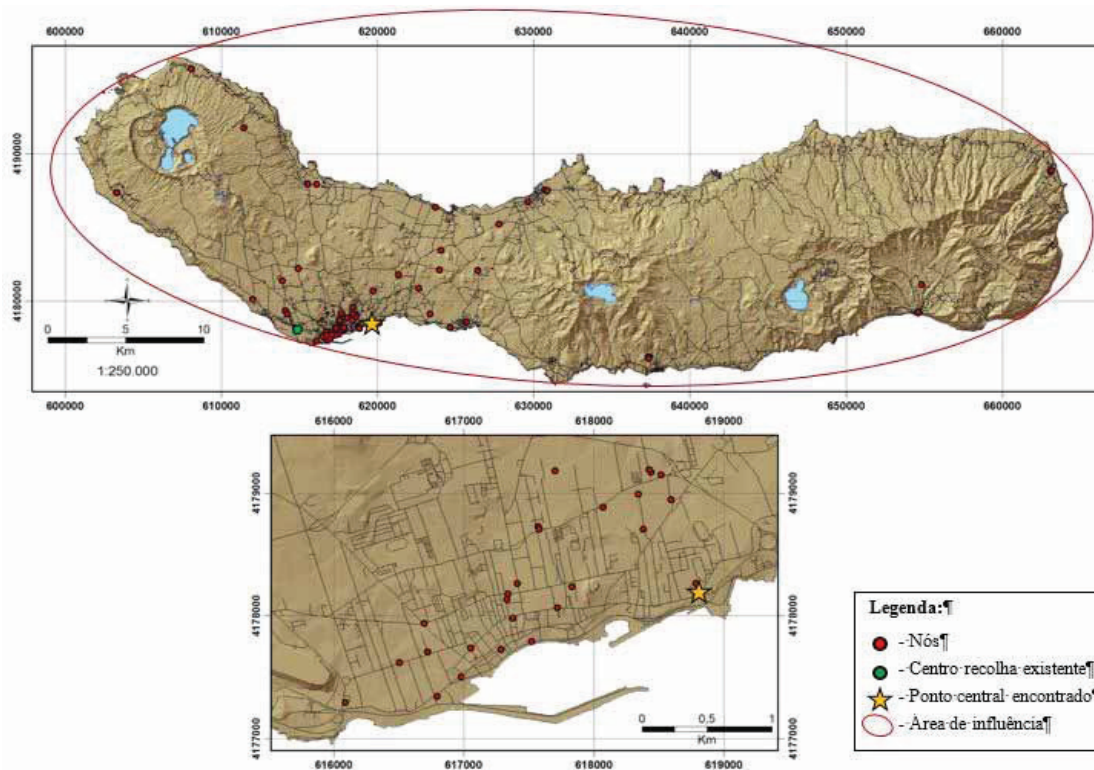


Figura 1: Localização ótima obtida pelo modelo

Na situação de criação de um segundo ponto de recolha, relacionado com a segunda hipótese, constata-se que o nó situado no interior da cidade de Ponta Delgada manter-se-ia como mediana e receberia 86% dos pneus. A segunda mediana, estaria localizada na Vila do Nordeste, recebendo esta apenas 14% da quantidade total de pneus produzida. Esses 14% referem-se a cinco detentores, três situados na Vila da Povoação e dois na Vila do Nordeste. De referir ainda que, dos cinco detentores, um deles representa quase 80% do volume total das 130,883 toneladas entregues.

Para confirmar a robustez do modelo, este foi igualmente calculado para três, quatro e cinco medianas. Por sua vez, com os resultados obtidos na simulação $p=5$, foi de novo processado o modelo, mas agora com o objetivo de obter um ponto médio das cinco medianas anteriormente obtidas. Este método de resolução com recurso a várias iterações, com o objetivo de obter aproximações sucessivas, de forma gradual, é um método baseado na análise de *clusters*, cujos fundamentos matemáticos serão apresentados futuramente em publicação de revista da especialidade, pelos autores deste artigo. De realçar que o resultado obtido com recurso a duas iterações ($p=5/1$) vem confirmar o resultado do modelo para $p=1$, uma vez que ambos identificaram como vértice o mesmo nó.

Na tentativa de responder à terceira hipótese, não foi possível identificar qualquer razão técnica que inviabilize, a título permanente, o envio de pneus oriundos dos Açores para reciclagem. Tendo presente o princípio da preferência tendencial da reciclagem sobre a recuperação energética prevista em lei, considera-se que, para além de uma avaliação económica, devem ser tidos em conta os benefícios ambientais e sociais do aumento do volume da reciclagem em detrimento da valorização energética. Tomando por base a informação de rutura de capacidade, por parte das entidades que efetuam a valorização por reciclagem, esta é uma limitação operacional que explica o atual procedimento, apenas temporariamente.

Partindo do princípio que os agentes económicos privilegiam a ação que lhes proporciona maior retorno, passa a ser viável o envio de pneus para reciclagem ao invés de valorização energética, quando a desigualdade (7) for verdadeira.

$$V_1 - \left[CP_1 + \frac{1}{18} CT_1 + CA_1 + CS_1 \right] \leq V_2 - \left[CP_2 + \frac{1}{4} CT_2 + CA_2 + CS_2 \right] \quad (7)$$

Desagregando os custos de transporte nas suas componentes, obtém-se a desigualdade (8).

$$V_1 - \left[CP_1 + \frac{1}{18} (CTa_1 + CTm_1 + CTc_1) + CA_1 + CS_1 \right] \leq V_2 - \left[CP_2 + \frac{1}{4} (CTa_2 + CTm_2 + CTc_2) + CA_2 + CS_2 \right] \quad (8)$$

Considera-se que os valores constantes que intervêm em (7) e (8) têm na sua génese a informação de que um contentor carrega, em média, quatro toneladas de pneus inteiros e dezoito toneladas se estes foram previamente triturados. Assim, o custo de transporte dos pneus inteiros em contentor é quatro vezes e meia superior ao custo de transporte dos pneus triturados.

Note-se que os índices 1 dizem respeito à valorização energética, e 2 à valorização por reciclagem, e para se obter uma melhor perceção das desigualdades (7) e (8) listamos as variáveis usadas.

- V - Valor pago pela entidade gestora ao operador logístico, por tonelada;
- CP - Custo de processamento no centro de recolha, por tonelada;
- CT - Custo do transporte de um contentor entre centro recolha e valorizador
- CTa - Custo do transporte rodoviário de um contentor na RAA
- CTm - Custo do transporte marítimo de um contentor
- CTc - Custo do transporte rodoviário de um contentor no território continental.
- CA - Custo ambiental
- CS - Custo social

A inclusão do custo ambiental (CA) e do custo social (CS) deve-se ao benefício de considerar as três componentes da sustentabilidade. Considerando a não disponibilização de dados que permita efetuar análise quantitativa, optou-se por fazer uma análise teórica que incide nos fatores legais, técnicos, económicos e logísticos que afetam cada um dos intervenientes do processo - entidade gestora, operador logístico, transportador e valorizador - a qual poderá ser consultada nos quadro 1-5. É importante referir que, considerando o aspeto ambiental, verifica-se a existência de benefícios ambientais na opção de reciclar em comparação com a valorização energética, indo ao encontro da preferência legal.

Quadro 1: Fatores intervenientes na terceira hipótese – Fatores legais

Gestor do SGPU	De acordo com o DL 178/2006 de 05 de Setembro, tem a obrigação de encaminhar preferencialmente os pneus para reciclagem ao invés da valorização energética. A opção de encaminhamento dos pneus é do Gestor do SGPU
Operador logístico	Nada a referir.
Transportador	Nada a referir.
Valorizador	Trata os pneus que lhe são encaminhados pelo Gestor do SGPU.

Quadro 2: Fatores intervenientes na terceira hipótese – Fatores técnicos

Gestor do SGPU	Ação meramente administrativa.
----------------	--------------------------------

Operador logístico	Para reciclagem, terá de fazer a triagem dos pneus recebidos e sua limpeza; Para valorização energética, basta consolidação de carga para transporte, podendo recorrer à trituração dos pneus.
Transportador	Transporta contentores independentemente do seu conteúdo.
Valorizador	Conforme a tecnologia de reciclagem, terá requisitos próprios quanto ao material a receber, nomeadamente no que diz respeito a padronização de tamanho, formato e constituição física assim como de limpeza. As cimenteiras que fazem a valorização energética podem utilizar como combustível carvão, fuelóleo, gás, entre outros, pelo que é pouco exigente em termos de requisitos.

Quadro 3: Fatores intervenientes na terceira hipótese – Fatores económicos

Gestor do SGPU	Para além do valor de 0,025€/Kg pagos aos operadores logísticos polos pneus recolhidos e triados, conforme estipula o despacho n.º 31203/2008 do Ministérios do ambiente, do ordenamento do território e do desenvolvimento regional e da economia e da inovação, de 04 de Dezembro de 2008, não foi possíveis apurar qualquer outro valor contratado no âmbito do SGPU;
Operador logístico	Uma vez que o seu proveito financeiro provém da quantidade de pneus entregues ao gestor do SGPU, terá de avaliar o retorno recebido pelas duas opções.
Transportador	O valor do transporte dos contentores é independente do peso. Tem benefício na opção de reciclagem uma vez que representa o transporte de maior número de contentores.
Valorizador	Desconhece-se os valores contratados com o gestor do SGPU. Antevê-se a existência de quantidades mínimas que proporcionam a rentabilidade económica.

Quadro 4: Fatores intervenientes na terceira hipótese – Fatores logísticos

Gestor do SGPU	Podem existir cláusulas contratuais de quantidades a entregar aos diversos valorizadores, nomeadamente aos valorizadores energéticos.
Operador logístico	As duas opções representam exigências logísticas diferenciadas, sendo a reciclagem mais exigente em termos de mão-de-obra e a valorização energética em termos de meios. A opção de valorização energética permite maior capacidade de processamento.
Transportador	Nada a referir
Valorizador	Capacidade de tratamento em termos quantitativos

6. CONCLUSÕES

No ponto de vista dos autores desse estudo, este tem algumas aplicações imediatas. Obtemos um melhor conhecimento do sistema de recolha e tratamento dos pneus usados implementado na ilha de São Miguel, que pode ser adaptado a qualquer outra ilha do mesmo arquipélago. Com a criação deste modelo de localização de infraestruturas inovador, por ter sido aplicado dois procedimentos adicionais, fugindo à estandardização encontrada na literatura do género, atingindo-se algum sucesso na adaptação ao caso concreto estudado, desenvolveu-se uma ferramenta informática que permite analisar a eficiência da localização em redes de pequena e média dimensão.

Este estudo pode permitir o estudo futuro de redes de maior dimensão, e é facilmente adaptável a realidades de territórios descontínuos de pequena dimensão.

As duas alterações efetuadas no método tradicional, uma simplificação do número de nós, que permitiu a redução da matriz distâncias, e o uso de conceitos originários da análise hierárquica de *clusters*, traduziu-se na aplicação faseada do modelo a partes da rede, segundo um critério geográfico, possibilita a sua posterior aplicação a uma rede simplificada onde os nós são as medianas das redes parciais anteriormente encontradas. Com a implementação deste modelo também conseguimos identificar a especificidade dos detentores de pneus usados situados na parte nordeste da ilha e contribuir para uma justificação matemática da questão do envio de pneus usados exclusivamente para valorização energética e quais as razões que lhe estão subjacentes.

Assim, usando os resultados alcançados é possível concluir que o SGPU implementado na ilha de São Miguel não é eficiente, face à localização das suas infraestruturas, mas, no entanto, tendo por fundamento a vantagem da não localização do centro de recolha em meio urbano e a sua reduzida distância ao ponto mediano, aceita-se como correta a sua localização atual, em 2013. A criação de um segundo ponto de recolha traria eficiência ao sistema na sua totalidade. O atual procedimento de envio da totalidade dos pneus produzidos nos Açores para valorização energética não se baseia em pressupostos técnicos permanentes, carecendo de análise económica e ambiental mais aprofundada.

Decorrente dos resultados obtidos na hipótese 2 e prosseguindo o objetivo de melhoria da performance global do sistema, os autores propõem o englobamento de cargas dos cinco detentores situados na parte nordeste da ilha, assumindo o detentor com maior peso o papel de centro de recolha local.

Em futuros trabalhos os autores tencionam aplicar o modelo criado ao SGPU no seu todo, avaliando-se a localização dos centros de recolha não só em função dos custos de transporte a montante mas também dos custos existentes a jusante. Utilizando a técnica de aplicação faseada testada, será possível a aplicação do modelo apresentado à totalidade do arquipélago, dando a conhecer o sistema na sua completude e percebendo as relações que se estabelecem entre as diversas ilhas. Outra oportunidade de estudo será a análise da implantação nos Açores de uma instalação para efetuar a reciclagem dos pneus usados produzidos na região, eliminando assim a necessidade do seu envio para o território continental. Por último, a análise do SGPU em termos dinâmicos, perspetivando o seu futuro com base em dados históricos e exame das tecnologias de tratamento dos pneus usados existentes e em eclosão.

BIBLIOGRAFIA

Adrianto, Luky & Matsuda, Yoshiaki (2002), “Developing economic vulnerability indices of environmental disasters in small island regions”, *Environmental Impact Assessment Review*, Vol. 22, nº 4, pp. 393-414.

Baldacchino, Godfrey (2008), “Trains of Thought: Railways as Island Anthitheses”, *Shima: The International Journal of Research into Island Cultures*, Vol. 2, nº 1, pp. 29-40.

Barroso, Ana & Machado, Verginia (2005), “A Gestão Logística dos Resíduos em Portugal”, *Investigação Operacional*, Vol. 25, pp. 179-194.

Briguglio, Lino (1995), “Small island developing states and their economic vulnerabilities”, *World Development*, Vol. 23, nº 9, pp. 1615-1632.

Casaca, Ana & Marlow, Peter (2005), “The competitiveness of short sea shipping in multimodal logistics supply chains: service attributes”, *Maritime Policy & Management: The flagship journal of international shipping and port research*, Vol. 32, nº 4, pp. 363-382.

Chaabane, Amin; Ramudhin, Amar & Paquet, Mark (2012), “Design of sustainable supply chains under the emission trading scheme”, *International Journal of Production Economics*, Vol. 135, nº 1, pp. 37-49.

Crainic, Teodor & Laporte, Gilbert (1997), “Planning models for freight transportation”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 97, nº 3, pp. 409-438.

De Brito, Marisa & Dekker, Rommert (2003), “A Framework for Reverse Logistics”, Erasmus Research Institute of Management Report Series Reference No. ERS-2003-045-LIS.

Deschenes, Peter & Chertow, Marian (2004), “An island approach to industrial ecology: towards sustainability in the island context”, *Journal of Environmental Planning and Management*, Vol. 47, nº 2, pp. 201-217.

EU-CoR (2002), “Opinion of the Committee of the Regions of 13 March 2002 on the White Paper European Transport Policy for 2010: time to decide”, European Union - Commission for Territorial Cohesion, The Committee of the Regions, Brussels.

Frias, Armindo (2011), “A configuração da cadeia logística inversa para o tratamento dos pneus usados – um problema de otimização de localização”, Universidade dos Açores, Ponta Delgada.

Frota-Neto, Quariguasi; Bloemhof-Ruwaard, J.; van-Nunen, J. & van-Heck, E. (2008), “Designing and evaluating sustainable logistics networks”, *International journal of Production Economics*, Vol. 111, nº 2, pp. 195–208.

Hall, Peter & Jacobs, Wouter (2010), “Shifting Proximities: The Maritime Ports Sector in an Era of Global Supply Chains”, *Regional Studies*, Vol. 44, nº 9, pp. 1103-1115.

Kariv, Oded & Hakimi, Louis (1979), “Algorithmic approach to network location problems II: The p-medians”, *SIAM Journal on Applied Mathematics*, Vol. 37, nº 3, pp. 539-560.

Lorentz, Harri; Töyli, Juuso; Solakivi, Tomi; Hälinen, Hanne-Mari & Ojala, Lauri (2012), “Effects of geographic dispersion on intra-firm supply chain performance”, *Supply Chain Management: An International Journal*, Vol. 17, nº 6, pp. 611-626.

Matas, Jaume (1997), “Recognition of the island factor”, 1st european conference on sustainable Island development - Minorca commitments, pp. 13-14, Minorca.

Morales-Fusco, Pau; Saurí, Sergi & Lago, Alejandro (2012), “Potential freight distribution improvements using motorways of the sea”, *Journal of Transport Geography*, Vol. 24, pp. 1-11.

Owen, Susan & Daskin, Mark (1998), “Strategic facility location: A review”, *European Journal of Operational Research*, Vol. nº.111, pp. 423-447.

Terry, M. (1996), “Survey Logistics 96: Revolution progress”, *Financial Times*, 15 October, 3.

Valorpneu (2013), Valorpneu. Obtido em 02 de junho de 2013, <http://www.valorpneu.pt/>

Zsigraiova, Zdena; Tavares, Gilberto; Semiao, Viriato & Carvalho, Maria de (2009), “Integrated waste-to-energy conversion and waste transportation within island communities”, *Energy*, Vol. 34, nº 5, pp. 623–635.