



SEÇÃO: DOSSIÊ

A história da coleta de resíduos em Novo Hamburgo, RS e uma proposta de uma nova roteirização utilizando sistema de informações geográficas

The waste collection history in Novo Hamburgo, RS and a proposal for a new route using geographical information system

Natan Ruan Machado

Da Costa¹

orcid.org/0000-0002-6665-4790

natan.ruan@ufrgs.br

Victor Fernandez

Nascimento^{1,2}

orcid.org/0000-0002-3311-8190

victonascimento@faccat.br

Jean Pierre Henry

Balbaud Ometto³

orcid.org/0000-0002-4221-1039

jean.ometto@inpe.br

Recebido em: 8/5/2020.

Aprovado em: 12/6/2020.

Publicado em: 21/12/2020.

Resumo: A elevação do número da população mundial, nas últimas décadas, vem acarretando um aumento exorbitante na produção de resíduos sólidos urbanos (RSU). Em consequência, o processo de gerenciamento dos RSU (serviços de coleta, transporte e destinação), que visa minimizar os impactos ambientais, tem gerado grandes custos aos cofres públicos. Além do impacto na economia, o transporte de RSU acarreta grandes volumes de emissões de gases do efeito estufa (GEE), causando fortes danos à atmosfera. Esta pesquisa fez uma análise histórica do gerenciamento dos RSU no município de Novo Hamburgo, no estado do Rio Grande do Sul, e propôs uma nova roteirização para a coleta destes resíduos utilizando diferentes cenários. Para isso foi utilizado a ferramenta *Network Analyst* dentro de um software de Sistema de Informação Geográfica para identificar as rotas mais eficientes para os veículos coletores de RSU. A partir desta informação foram estimados os custos financeiros e também as emissões de GEE para realizar a coleta. Os resultados demonstraram que para compensar os gases emitidos pelos caminhões de coleta de RSU em um período de um ano seriam necessários plantar mais de 285 mil árvores nativas da Mata Atlântica dependendo do cenário de roteirização utilizado, isto dá uma área média equivalente a 15.900 campos de futebol, sem levar em consideração o transporte desses resíduos até o aterro sanitário de Minas do Leão, o qual se localiza a mais de 100 km do centro de Novo Hamburgo, o que iria aumentar consideravelmente esse valor. Portanto, uma análise histórica da coleta de resíduos e a definição de rotas de transporte de RSU mais eficientes trará ao município melhores serviços de limpeza pública e mitigação dos impactos ambientais.

Palavras-chave: Impactos ambientais. Resíduos sólidos urbanos. Emissões de gases.

Abstract: The Municipal Solid Waste (MSW) increasing in the world is a direct consequence of population and consumption growth. Each year more and more MSW is generated, which needs to be correctly collected and transported. This MSW management stage addresses the collection and transportation of waste from cities to a landfill and is one of the steps that most damage the environment through greenhouse gas (GHG) emissions. This study made a historical analysis of the MSW management in the Novo Hamburgo city located in the Rio Grande do Sul state and proposed a new route for MSW collection vehicle trucks using different scenarios. For this, the Network Analyst tool was used within a Geographic Information System software to identify the most efficient routes for MSW collecting vehicles. Based on this information, the financial costs and GHG emissions to carry out the MSW collection were estimated. The results showed that to mitigate the gases emitted by MSW collection trucks in one year, it would be necessary to plant more than 285 thousand Atlantic Forest native trees accordingly to the routing scenario choose, this gives an average area equivalent to 15,900 soccer fields, without taking into account the transportation of this MSW to the Minas do



Artigo está licenciado sob forma de uma licença
[Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS, Brasil.

² Faculdades Integradas de Taquara (FACCAT), Taquara, RS, Brasil.

³ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, SP, Brasil.

Leão landfill, which is located more than 100 km away from the Nova Hamburgo center and would considerably increase this value. Therefore, the MSW management historical analysis and the definition of more efficient MSW collection routes will bring to the city better public cleaning services and environmental impacts mitigation.

Keywords: Environment impacts. Municipal solid waste. Gas emissions.

Introdução

A história de diversos países tem sido marcada pelo crescimento significativo na geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) ao longo dos anos. No Brasil, durante o ano de 2015 foram produzidos 79,9 milhões de toneladas, o qual registrou um aumento de 1,7% em relação ao ano anterior (ABRELPE, 2016). As alterações nos modos de produção e de consumo da população, impulsionadas pelo desenvolvimento econômico, pela urbanização, pelo aumento populacional e pela revolução tecnológica, são os principais responsáveis por esse aumento de produção dos RSU, principalmente em áreas urbanas (NASCIMENTO; SILVA; SOBRAL, 2015).

Todos os RSU precisam ser coletados para não causarem problemas de poluição, saúde e, até mesmo, alagamentos em áreas urbanas (NASCIMENTO *et al.*, 2017). O crescente aumento do número de habitantes no planeta tem agravado ainda mais essa situação, associado à concentração das populações nas cidades impossibilitando a capacidade natural do planeta Terra em absorver os RSU. São coletados entre 180 e 250 mil toneladas de RSU todos os dias em todo o Brasil. Segundo dados da ABRELPE, cerca de 91% dos RSU produzidos no Brasil são coletados pelos veículos coletores (ABRELPE, 2016). A geração média de RSU é próxima de 1 Kg por habitante/dia, valores similares a padrões de produção dos países da União Europeia (GOUVEIA, 2012). Como esses dados não estão disponibilizados para todos os municípios brasileiros no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) é importante elaborar cenários de gerações de RSU para se ter uma ideia de quantos resíduos precisarão ser gerenciados (SPINOLA *et al.*, 2019).

As etapas mais relevantes no gerenciamento dos RSU são os processos de coleta e transporte.

Nesse contexto, a readequação desses processos tem elevada importância na redução de impactos ambientais gerados. A elaboração de roteiros para realização da coleta e da destinação dos RSU até aterros menos distantes, por exemplo, reduziria a quantidade de combustível utilizada pelo veículo coletor, além de diminuir as emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE) (ALVARENGA DE MORAIS *et al.*, 2019).

O município objeto deste estudo é Novo Hamburgo, que possui uma população de cerca de 246 mil habitantes e, aproximadamente, 223 km² (IBGE, 2018). Um dos maiores empecilhos da gestão atual de RSU do município é expandir os serviços de coleta seletiva para todo o território. Segundo relatórios de gestão urbana da prefeitura (PRO-SINOS, 2012) a problemática deve-se à falta de recursos financeiros. Em Novo Hamburgo, os RSU são acondicionados na Estação de Transbordo, que fica no bairro Roselândia (onde havia um lixão) e, posteriormente, são encaminhados até o Aterro Recreio em Minas do Leão/RS, que fica a cerca de 100 quilômetros do município.

A poluição causada por veículos automotores é um problema mundial (NASCIMENTO; DA SILVA, 2014). Nesse contexto, o deslocamento dos veículos de coleta e de destinação final dos RSU têm provocado um aumento da concentração de substâncias e de GEE na atmosfera. Em grande parte dos municípios brasileiros, o transporte e a destinação final dos RSU são realizados de forma aleatória e não são feitas análises mais elaboradas com o intuito de reduzir as rotas. Em consequência, é utilizada uma quantidade maior de combustível causando aumento dos custos envolvidos no processo e dos impactos gerados na qualidade do ar atmosférico.

O combustível utilizado nos veículos de coleta é normalmente o óleo diesel, o qual é um dos principais responsáveis pelas emissões de GEE no Brasil. Durante a queima, o óleo diesel libera grandes concentrações de dióxido de carbono na atmosfera. Os caminhões responsáveis pelo transporte de cargas no Brasil, por exemplo, foram responsáveis pelo lançamento de 84,5 milhões de toneladas de CO₂, o equivalente a mais do que

todas as termelétricas fósseis em operação no país (SEEG, 2018). Além do seu grande potencial poluidor, o valor do diesel se elevou bastante nos últimos anos, aumentando as despesas de transporte. Entre 7% e 15% dos recursos do orçamento municipal são destinados aos serviços de limpeza pública e metade desse valor é convertido à coleta e ao transporte de RSU (SARKIS, 2000).

No Brasil, aproximadamente 54 milhões de toneladas de RSU foram coletadas em 2010, o que gerou um custo de cerca de 7 bilhões de reais ao país (ABRELPE, 2010). A quantidade desses RSU está aumentando com o decorrer dos anos no Brasil e causando diversos impactos ambientais (NASCIMENTO *et al.*, 2019). Neste tocante, o uso de ferramentas como o Sistema de Informação Geográfica (SIG) tem um papel fundamental na otimização de rotas de transporte. A roteirização, por exemplo, é um processo de definição de roteiros e de itinerários marcados pela agilidade, eficiência e otimização a serem cumpridos por veículos de uma frota, objetivando visitar um conjunto de pontos geograficamente dispersos. Portanto, a partir disso, este trabalho tem como objetivo elaborar cenários de roteirização da coleta de RSU para o município de Novo Hamburgo, no Rio Grande do Sul utilizando SIG com o intuito de diminuir os custos financeiros e os impactos ambientais, pensando em um meio ambiente mais equilibrado e sustentável.

Contexto histórico

A preocupação com os RSU, no Brasil, iniciou-se em meados do século XIX. Naquela época, a limpeza das cidades era feita exclusivamente para momentos de festejos. Os dejetos eram descartados próximos aos locais de convivência e não se via um grande problema nisso. Somente após o aparecimento de epidemias é que, de fato, os RSU tornaram-se alvo de preocupações de autoridades e foram definidos como um perigo para a ordem pública e para a saúde. O medo serviu de argumento para a elaboração e articulação de algumas medidas para sanear as cidades. Dentre elas, destacam-se a produção de normas para a coleta e depósito dos RSU

em regiões mais afastadas, a implantação dos incineradores, além da pavimentação das ruas, que está intimamente ligada com a facilidade na retirada dos RSU. Essa ampliação e transformação pode ser percebida analisando o Código de Posturas, que foi editado em 1875 e ampliado em 1886, no qual a preocupação central era a demarcação do espaço público e a normatização da sua circulação. E, assim, em 1893, foi feito o primeiro contrato protocolado para os serviços de coleta domiciliar e de varrição, que foi realizado na cidade de São Paulo (MIZIARA, 2011).

Até o fim da década de 1960, a coleta de RSU era feita em carroças puxadas por animais de tração, as quais eram constituídas de madeira sem nenhuma camada de verniz que as tornassem impermeáveis ou facilmente desinfetáveis. Em 1972, tornou-se obrigatório o uso de sacos plásticos no acondicionamento dos RSU nos locais de coleta noturna, medida que acabou na substituição das antigas latas de lixo (EIGENHEER, 2009). A implantação dos sacos plásticos em conjunto com a entrada dos caminhões basculantes trouxe mais agilidade durante a coleta, facilitando principalmente o trabalho dos funcionários de limpeza pública e tornando a coleta mais rápida.

Em Novo Hamburgo, o Plano de Gerenciamento de RSU (PRO-SINOS, 2012) do município evoluiu muito ao longo dos anos. Em 1927, quando ocorreu a emancipação do município, a prefeitura deu início aos serviços de coleta de resíduos nas residências. No primeiro momento, o descarte foi feito em zonas da periferia distantes do centro urbano. O primeiro local de destinação foi na atual rua Oswaldo Cruz, conhecida, na época, como Rua da Limpeza.

No final da década de 1960 e início dos anos 1970, os RSU passaram a ser levados para um lixão (locais sem nenhum controle ambiental em relação a infiltração de chorume no solo, contaminação do lençol freático etc.) na rua Guia Lopes. Ao decorrer dos anos, foram criados mais quatro lixões em diferentes locais, dentre eles o lixão Buraco do Raio, que teve sua área recuperada recentemente com a construção de uma praça pública; o lixão de Vila Kroeff, que foi projetado na área pertencente ao sistema híbrido do Rio dos Sinos; e o lixão

de Roselândia, que atualmente é a estação de transbordo do município. Roselândia funcionou até 2007 e era considerado, na época, um aterro, por não possuir córregos nas suas proximidades e pelo lençol freático estar a uma distância razoável da considerada área de contaminação.

Atualmente a gestão de Novo Hamburgo está tentando se adaptar à Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), Lei n.º 12.305, aprovada em 2010. A PNRS tem como princípio o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor da cidadania. A nova política tem como objetivos a não geração, a redução e o destino correto dos RSU. Novo Hamburgo possui o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, elaborado em 2012 pela equipe do Consórcio Público de Saneamento Básico da Bacia Hidrográfica do Rio do Sinos, Pró-Sinos.

Os serviços de coleta de Novo Hamburgo são terceirizados há mais de 20 anos. Atualmente, a empresa responsável pela coleta, transporte e destinação de RSU é a Onze, que atua no município desde março de 2019. De acordo com estudo realizado pelo Pró-Sinos, os habitantes da cidade geram em média 180 toneladas de resíduos domésticos diariamente (PRÓ-SINOS, 2012). O que contabiliza cerca de 0,75 kg/dia de resíduo por habitante (FEE, 2010). Esses RSU são encaminhados para o aterro de Minas do Leão. O aterro Central de Resíduos do Recreio, como é chamado, atende um total de 140 municípios no estado do Rio Grande do Sul.

A coleta seletiva consiste na separação, ainda na fonte geradora, de materiais que podem ser reutilizados, reciclados ou, caso da fração orgânica, compostados; e é uma prática decisiva na gestão dos RSU (EIGENHEER, 2009). O serviço, propriamente dito, iniciou na Itália em 1941 devido às dificuldades marcada pelas grandes guerras (SOUZA, 2014). Durante a Segunda Guerra Mundial, todos os países já reciclavam, sobretudo metais para a indústria bélica. No Brasil, a coleta seletiva foi iniciada em 1985 na cidade de Niterói no Rio de Janeiro (RIBEIRO, 2007). A partir daí, um número

cada vez maior de municípios foi introduzindo a prática até que o sistema de coleta seletiva passou a ser observado em quase todo o País. Atualmente, em Florianópolis, por exemplo, a coleta seletiva é feita em todos os bairros da ilha. Apesar da grande distância percorrida pelos caminhões, que acarreta um maior custo de coleta por tonelada no Brasil, obtém-se uma grande quantidade de material reciclado. Em Porto Alegre, que também conta com a coleta seletiva em quase todos os bairros da cidade, com um custo muito baixo, tem a segunda maior quantidade de material reciclado coletada no país, perdendo somente para a cidade de Curitiba (MIZIARA, 2011).

Novo Hamburgo, como já mencionado, não possui serviço de coleta seletiva tradicional, alternando dias para coleta de resíduos secos e dias para a coleta de resíduos orgânicos. Desde 2010, foi implantado o serviço dos catadores individuais (coleta seletiva solidária), que passam na porta das casas recolhendo os resíduos recicláveis. Porém essa é uma realidade vista, principalmente nas áreas centrais. Portanto, o tipo de coleta que ocorre na maior parte do município é mista, ou seja, os moradores descartam os resíduos orgânicos e inorgânicos juntos, o que não é adequado para a posterior reciclagem e do ponto de vista ambiental.

Esses RSU, tanto os de coleta mista quanto os recolhidos pela coleta seletiva nas zonas centrais de Novo Hamburgo, vão para a estação de transbordo onde se localizava o antigo lixão de Roselândia. Lá os catadores, vinculados ao projeto CataVida, realizam a separação dos materiais recicláveis, porém, estima-se que cerca de 50% dos resíduos da coleta mista são enviados diretamente para Minas do Leão sem nenhuma reciclagem (PRÓ-SINOS, 2012).

Metodologia

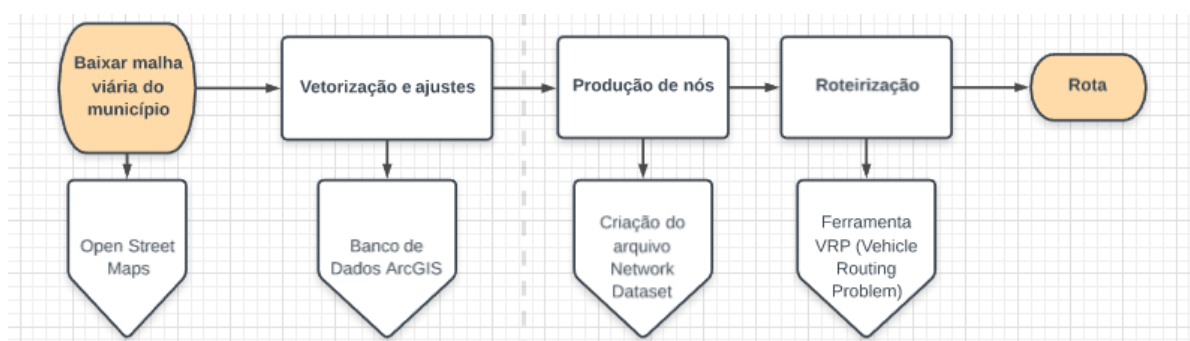
O passo inicial da metodologia do processo de roteirização que se encontra apresentada na Figura 1, foi a organização dos dados e o *download* da malha viária de Novo Hamburgo a partir de uma plataforma que possuísse o máximo de informações (nome de cada rua, comprimento

de cada trecho, o sentido da via, entre outros), garantindo assim a maior precisão dos dados gerados no processo de roteirização. Os dados foram coletados através do *OpenStreetMaps*,², que é uma plataforma colaborativa de diversos dados espaciais, dentre eles as vias de transporte.

O processo seguinte baseou-se em realizar os ajustes dos erros topológicos existentes na malha viária do município através do processo de vetorização. Após isso, foram identificados o término e

o cruzamento de cada trecho das ruas através da produção de nós nesses pontos. Dada a finalização dessas etapas de organização do banco de dados espacial, foram habitadas as ferramentas de roteirização para, posteriormente, serem geradas as rotas. Em seguida, com as rotas já disponibilizadas, foram calculados os custos envolvidos no deslocamento e estimados os impactos ambientais causados pela liberação de dióxido de carbono emitido pelos veículos de coleta.

Figura 1 – Fluxograma com o passo a passo do processo de roteirização



Fonte: Elaborado pelos autores.

A área de estudo, assim como cada uma das etapas da metodologia, é explicada com mais detalhamento a seguir.

Área de estudo

O estudo baseou-se na escolha de um município e no processo de roteirização na sua malha viária. A decisão levou em consideração um local de fácil acesso para que fosse possível a realização de eventuais visitas a campo, com o intuito de futuramente conhecer a situação real e propor melhorias. O município de Novo Hamburgo, que se localiza na Região Metropolitana de Porto Alegre (Figura 2) foi escolhido pela grande quantidade de informação no que diz respeito ao plano de gerenciamento dos RSU.

Figura 2 – Mapa de localização do município de Novo Hamburgo



Fonte: Elaborado pelos autores com base em IBGE (2018).³

Vetorização e ajustes

Neste estudo, foi utilizado o *software* ArcGIS, programa primordial na manipulação e na elaboração de informações vetoriais e matriciais para gerenciamento e uso de bases temáticas.

² Disponível em: www.openstreetmaps.org. Acesso em: 15 jan. 2019.

³ Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/downloads-estatisticas.html>.

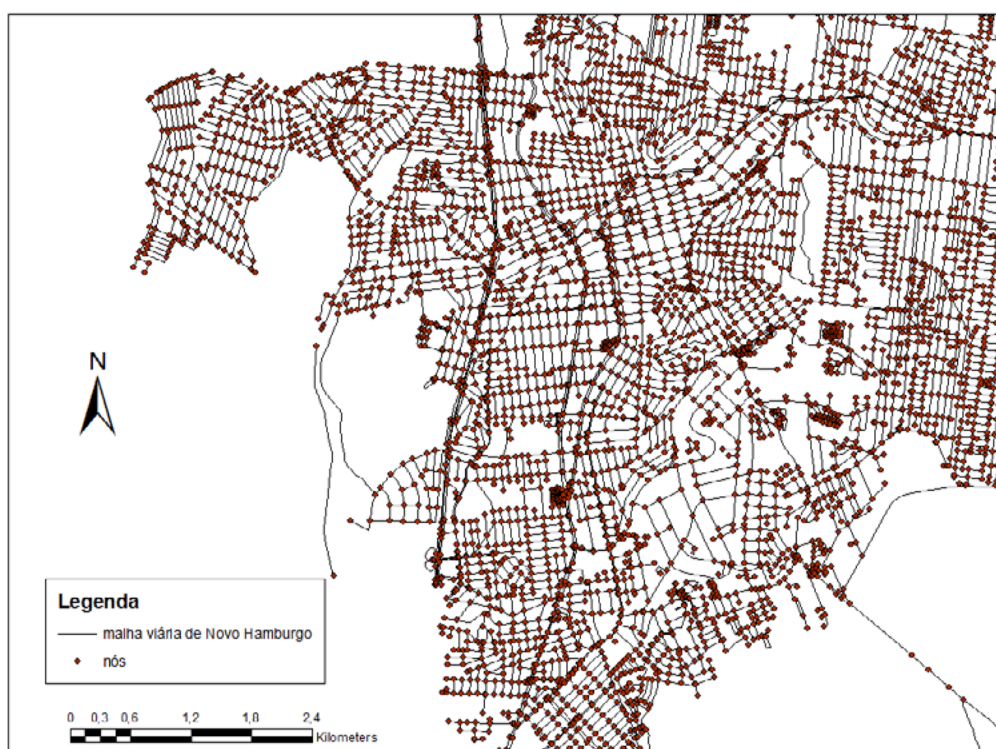
O primeiro passo do uso do *software* foi realizar o processo de vetorização (formato linha), ajustando a localização das vias da cidade. O processo foi feito comparando o banco de dados do *software* que continha o mapa das ruas com o *shapefile* da malha viária do município. Os dados foram cruzados a fim de identificar e corrigir todos os erros existentes pelo processo de vetorização. Essa etapa foi essencial, pois qualquer erro não corrigido na malha viária poderia acarretar valores errôneos no próximo passo e consequentemente causar falhas ao término da roteirização.

Produção de nós e criação do network dataset

Para se poder elaborar as rotas em um *software*

de Sistema de Informação geográfica (SIG) como o ArcGIS é necessário atribuir aos dados da malha viária os seus respectivos nós. Assim, após a concretização do processo de vetorização da malha viária de Novo Hamburgo foram identificados o fim e o cruzamento de trechos criando nós, onde eles se encontravam, como pode ser observado na Figura 3. Essa etapa envolve configurações do próprio *software*. Além disso, junto aos nós foi habilitado um novo arquivo denominado *Network Dataset*. Esse novo arquivo possui as mesmas configurações da malha viária antiga, todavia possibilita a habilitação da ferramenta *Network Analyst*, a qual será responsável pela elaboração das rotas.

Figura 3 – Processo de produção dos nós na malha viária de Novo Hamburgo



Fonte: Elaborado pelos autores por meio do *software* ArcGIS (2019). Dados retirados da plataforma *OpenStreetMaps*.

Roteirização

Dentro das opções de uso da ferramenta *Network Analyst*, foi utilizada a sua extensão do "problema de roteirização de veículo" (VRP, do inglês *Vehicle Routing Problem*) para indicar as rotas mais eficientes. O VRP é o instrumento responsável por otimizar rotas, solucionando problemas de roteirização envolvendo veículos de entrega ou

recolhimento de serviços, na qual o principal objetivo é percorrer o menor caminho possível.

Uma vez realizada a configuração da ferramenta *Network Analyst* e extensão VRP, possibilitou-se o cálculo das novas rotas, que percorreram todos os pontos de visita distribuídos ao longo da malha viária de Novo Hamburgo. O processo de roteirização, portanto, foi finalizado e o *software*

definiu através da tabela de atributos as distâncias percorridas e o tempo de deslocamento.

As definições das rotas foram feitas de modo a verificar o funcionamento da ferramenta de roteirização. Uma vez que Novo Hamburgo possui um sistema de coleta que difere para regiões urbanas e rurais, pensou-se em criar cenários que levassem em consideração essa distinção. Portanto, foram arbitrados quatro cenários para realizar a roteirização, sendo que no primeiro e terceiro cenários foram considerados somente a coleta urbana com 100 e 200 pontos distribuídos, respectivamente. E no segundo e quarto cenários a coleta deu-se de forma mista (urbana e rural) com 100 e 200 pontos distribuídos, respectivamente.

Dentro das configurações do VRP, é viável configurar opções como tempo de serviço, como, por exemplo, um horário comercial das 8h às 17h; a localização exata dos pontos de visita por onde deve-se passar; e um local de saída e chegada, o qual, na maioria dos municípios, é uma garagem ou Estação de Transbordo dos caminhões de coleta. Em Novo Hamburgo o ponto de partida e regresso é o

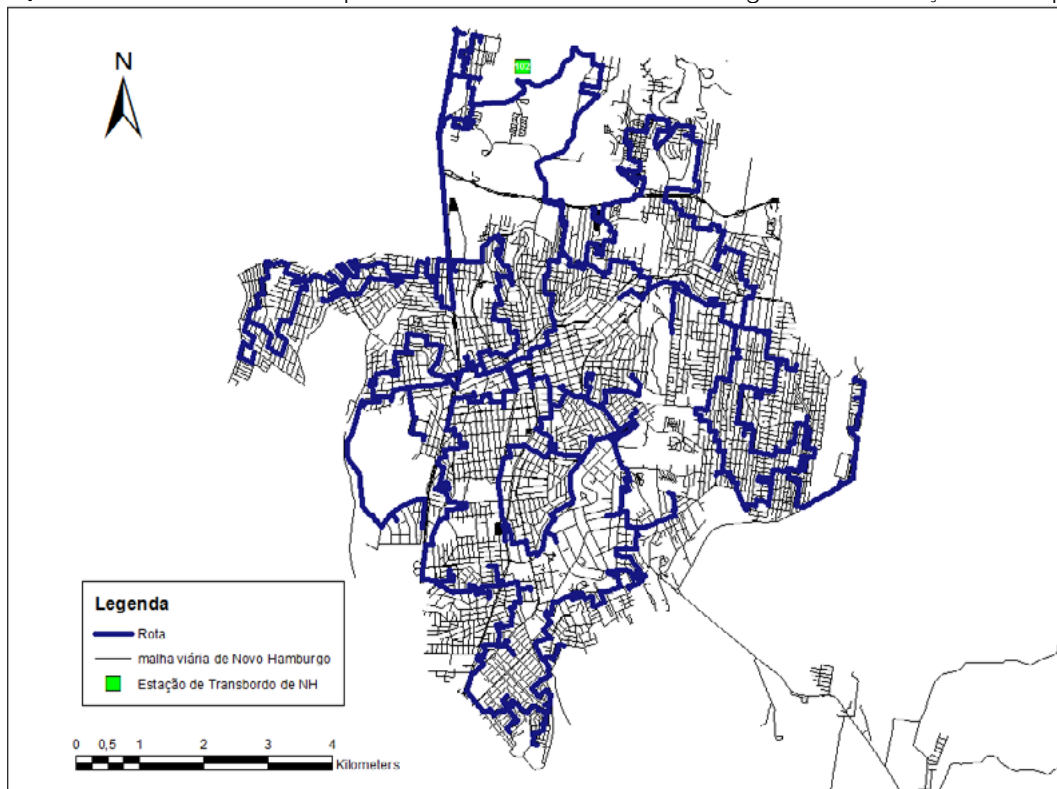
antigo aterro (lixão) de Roselândia, local usado hoje como Estação de Transbordo e onde são realizadas ações de reciclagem dos catadores do município.

É fundamental, antes da operação do *software* para definir as rotas, que se informe as unidades de medidas padrão a qual deseja-se trabalhar: tempo em minutos e distância em metros (depois foi feita a conversão para quilômetros). Além disso, é de suma importância arbitrar um valor padrão de velocidade de deslocamento. Considerando, que para esse estudo cujo objetivo foi gerar rotas para veículos coletos de RSU, definiu-se 40 km/h como velocidade média, uma vez que há variação entre a velocidade entre avenidas livres e ruas em que ocorrem o recolhimento de RSU.

Resultados

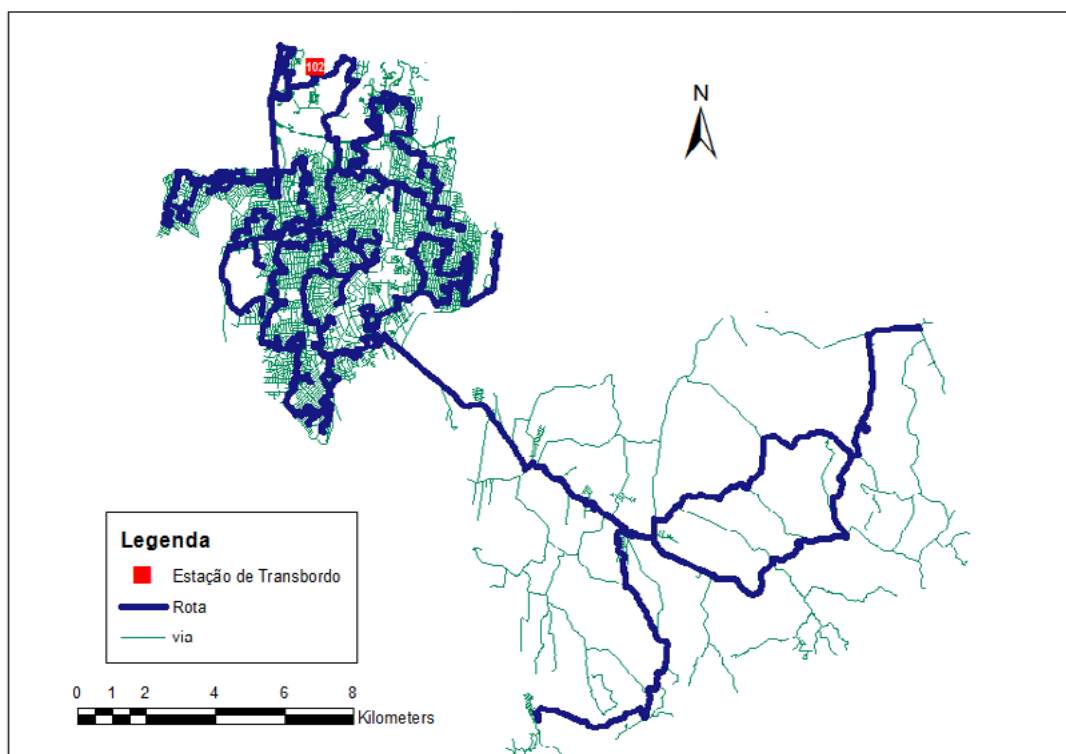
As rotas para o município de Novo Hamburgo, levando em consideração os quatro cenários descritos anteriormente, estão apresentados nas Figuras 4, 5, 6 e 7.

Figura 4 – Cenário 1: Rota calculada para a área urbana de Novo Hamburgo com distribuição de 100 pontos



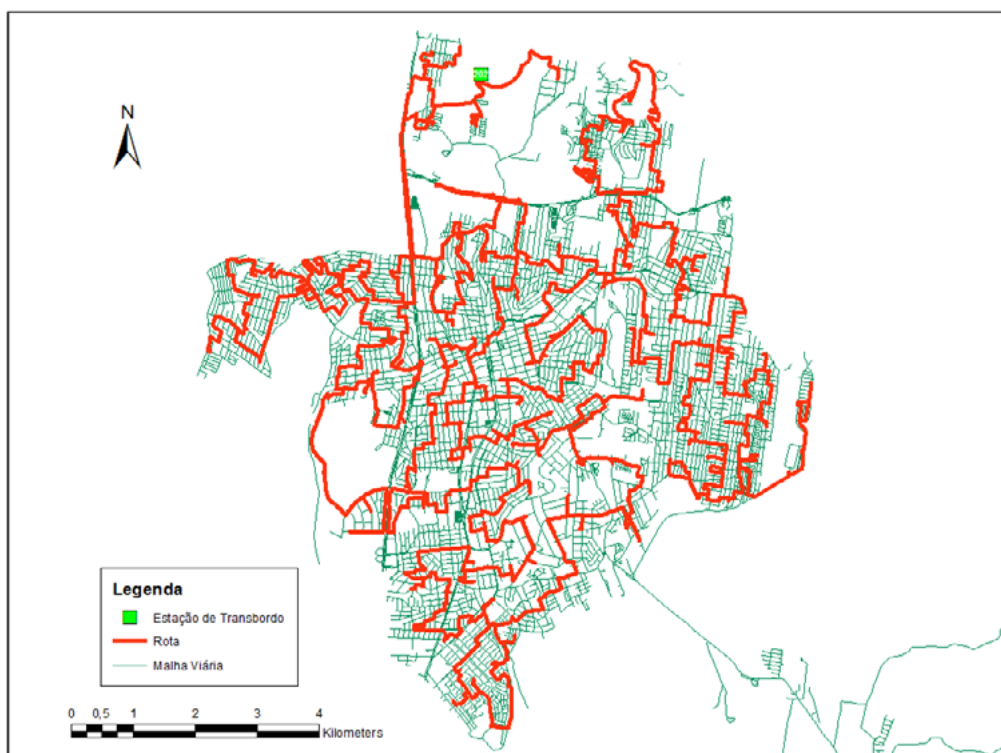
Fonte: Elaborado pelos autores por meio do *software* ArcGIS (2019) com base no processo de roteirização executado através da ferramenta *Network Analyst*. Dados retirados da plataforma *OpenStreetMaps*.

Figura 5 – Cenário 2: Rota calculada para a área urbana e rural de Novo Hamburgo com distribuição de 100 pontos



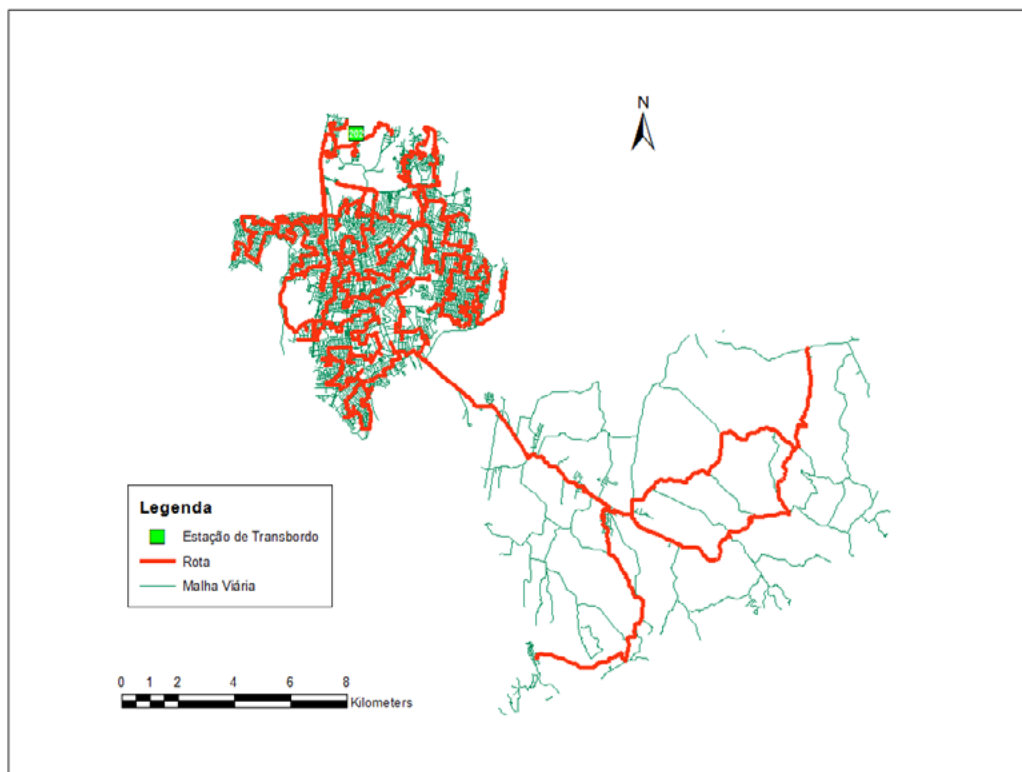
Fonte: Elaborado pelos autores por meio do *software* ArcGIS (2019) com base no processo de roteirização executado através da ferramenta *Network Analyst*. Dados retirados da plataforma *OpenStreetMaps*.

Figura 6 – Cenário 3: Rota calculada para a área urbana de Novo Hamburgo com distribuição de 200 pontos



Fonte: Elaborado pelos autores por meio do *software* ArcGIS (2019) com base no processo de roteirização executado através da ferramenta *Network Analyst*. Dados retirados da plataforma *OpenStreetMaps*.

Figura 7 – Cenário 4: Rota calculada para a área urbana e rural de Novo Hamburgo com distribuição de 200 pontos.



Fonte: Elaborado pelos autores por meio do *software* ArcGIS (2019) com base no processo de roteirização executado através da ferramenta *Network Analyst*. Dados retirados da plataforma *OpenStreetMaps*.

O primeiro e o terceiro cenário fizeram uma estimativa da coleta somente para a área urbana, enquanto no segundo e quarto cenário consideraram também pontos na área rural, os resultados da distância percorrida, tempo de deslocamento,

quantidade de combustível consumido e custo diário, assim como o custo anual e o total de emissões de gás carbônico para a atmosfera, que podem ser visualizados na Tabela 1.

TABELA 1 – Resultados obtidos no processo de roteirização no município de Novo Hamburgo

Cenár	N° de pontos distribuídos	Distância percorrida	Tempo de deslocamento	Quantidade de combustível (diário)	Custo (diário)	Custo (anual)	Emissões de CO ₂ (anual)
1	100	109,3 km	1h45min	43,73 L	R\$ 157,42	R\$ 41.558,88	30,8 toneladas
2	100	161,0 km	3h17min	64,41 L	R\$ 231,88	R\$ 61.216,32	45,40 toneladas
3	200	128,4 km	2h50min	51,37 L	R\$ 184,94	R\$ 48.824,16	36,2 toneladas
4	200	170,1 km	4h14min	68,04 L	R\$ 244,95	R\$ 64.666,80	48,0 toneladas

Fonte: Elaborado pelos autores a partir dos dados mostrados pelo *software* ArcGIS ao fim da roteirização.

A tabela de atributos da ferramenta *Network Analyst*, ao término da roteirização mostrou os resultados de deslocamento. Ela apresentou a distância total percorrida e o tempo de deslocamento. Com esses dados, foram calculados os custos envolvidos no trajeto e estimadas as quantidades diária e anual das emissões de GEE.

Os resultados demonstraram que o deslocamento total foi de aproximadamente 109; 161; 128 e 170 quilômetros para os cenários 1, 2, 3 e 4, respectivamente. A seguir, calculou-se a quantidade de combustível consumido por esses caminhões para realizar a viagem, dividindo a quilometragem percorrida pelos 2,5 km/litro, que é taxa média de consumo de um caminhão desse porte, e obteve-se quanto custaria para abastecer o veículo coletor com diesel, multiplicando os litros de combustível pelos R\$ 3,60 que é o valor de cada litro. Posteriormente, multiplicou-se os valores de custos diários por 22 dias no mês (coleta de segunda a sexta) e pelos 12 meses do ano para se obter o custo anual de combustível que foi de aproximadamente R\$ 41.558,88; R\$ 61.216,32; R\$ 48.824,16 e R\$ 64.666,80 para os cenários 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

O método *Top Down* desenvolvido em (CRUVINEL, 2012) foi utilizado para calcular as emissões de gases durante o deslocamento. Esse método é bastante usado para dimensionar as emissões de carbono geradas a partir de frotas de caminhões como os que são utilizados para realizar a coleta de RSU. Os resultados encontrados de emissões de GEE foram de 30,8; 45,4; 36,2; 48,0 toneladas anuais de CO₂ para os cenários 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

Os valores encontrados para os cenários que realizaram o mesmo tipo de coleta (ou somente urbana ou mista) foram muito semelhantes, distinguindo-se na visita às ruas: no cenário em que houve maior número de pontos mais ruas foram visitadas. Em relação à comparação dos valores, da inclusão ou exclusão da zona rural na análise, os valores percorridos, os custos com combustível e as emissões de carbono foram aproximadamente 39% maior quando ocorre a coleta de forma mista e se acrescenta a área rural nas rotas dos caminhões.

Considerações finais

Este artigo fez uma análise histórica dos resíduos sólidos urbanos no município de Novo Hamburgo no Rio Grande do Sul focando na coleta desses resíduos. Posteriormente, foi proposta uma roteirização para a coleta desses RSU utilizando o *software* de Sistema de Informação Geográfica juntamente com a ferramenta *Network Analyst*, o que demonstrou ser uma excelente ferramenta para se calcular rotas eficazes de coleta de RSU e gerar cenários de coletas envolvendo áreas urbanas e rurais. Em relação ao primeiro e ao terceiro cenário, onde a coleta é realizada somente na zona urbana, houve um aumento de ruas visitadas quando houve maior número de pontos distribuídos. A mesma situação foi vista na comparação do segundo e do quarto cenário, onde a coleta é realizada tanto na área urbana como na área rural, portanto, quanto mais pontos são utilizados e distribuídos geograficamente, maior é o número de ruas visitadas.

Por outro lado, o número de pontos distribuídos não aumentou, significativamente, os custos calculados com o combustível. Portanto, conclui-se que poderão ser distribuídos quantos pontos forem necessários até que a coleta seja a mais efetiva possível. Salienta-se também, que não houve um aumento considerável de gastos em comparação aos resultados dos custos envolvendo a coleta urbana e a coleta mista. Desta forma, o estudo mostrou também que há viabilidade de implantação de coleta seletiva para toda a área de Novo Hamburgo, sobretudo a partir da economia gerada com a otimização.

Em relação à quantidade de gases emitidos para a atmosfera, pode-se se dizer que seriam necessárias 219.912 (cenário 1), 324.156 (cenário 2), 258.468 (cenário 3), 342.720 (cenário 4) árvores da Mata Atlântica plantadas para compensar as emissões dos caminhões de coleta durante o período de um ano. Isso dá, em média, uma área de 172 km², ou o equivalente a 15.900 campos de futebol de áreas reflorestadas para compensar as emissões realizadas nessa operação de coleta dos RSU, sem levar em consideração o transporte desses resíduos até o aterro sanitário de Minas

do Leão, o qual se localiza a mais de 100 km do centro de Novo Hamburgo o que iria aumentar consideravelmente esse valor.

Desta forma, o estudo foi útil e pode ser usado como alternativa na tentativa de proporcionar mais saúde, qualidade de vida e serviços de limpeza pública mais eficientes aos habitantes desse município e para refletirmos sobre os impactos ambientais causados pela coleta dos resíduos.

Agradecimentos

Os autores agradecem a bolsa de Iniciação Científica de Natan Ruan Machado da Costa PIBIC-INPE/CNPq processo n.º 167221/2018-3 e projeto universal do CNPq processo n.º 409690/2018-0. Os autores também agradecem à Capes pela bolsa de pós-doutorado de Victor Fernandez Nascimento, processo n.º 88882.316284/2019-01 e ao INPE, UFRGS e à FACCAT pelo suporte dado durante esta pesquisa.

Referências

ABRELPE. *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2016*. [S. l.], [2016]. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2016.pdf>. Acesso em: dez. 2019.

ABRELPE. *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2010*. 2011. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2010.pdf>. Acesso em: dez. 2019.

ALVARENGA DE MORAIS, L. et al. Estimativas das Distâncias para Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos no Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Cartografia*, [S. l.], v. 71, n. 4, p. 960–982, 2019. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/48611>. Acesso em: 5 maio 2020. <https://doi.org/10.14393/rbcv71n4-48611>

BESEN, G. R.; GÜNTHER, W. M. R.; RODRIGUEZ, A. C.; BRASIL, A. L. Resíduos sólidos: vulnerabilidades e perspectivas. In: SALDIVA, P. et al. *Meio Ambiente e Saúde: o desafio das metrópoles*. São Paulo: Editora Ex Libris, 2010.

BONJARDIM, Estela Cristina; PEREIRA, Raquel da Silva; GUARDABASSIO, Eliana Vileide. Análise da produção científica nacional sobre gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil: Um estudo a partir da Lei 12.305/2010. 2016.

BRITO, Rodrigo Augusto Ferreira de. *Uso de sistema de informação geográfica para a análise do transporte e disposição final dos resíduos sólidos*. 2006.

CÉZAR-MATOS, Arlinda. *Plano de um sistema integrado de gerenciamento de resíduos sólidos para o município de Novo Hamburgo/RS*. 2001. Disponível em: <http://www.institutoventuri.org.br/ojs/index.php/firs/article/view/518/378>. Acesso em: nov. 2019".

CHITES, Raquel. *Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos de Novo Hamburgo/RS, seus espaços e agentes*. 2015. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/128032>. Acesso em: 4 dez. 2019.

CRUVINEL, R. R. S.; PINTO, P. V. H.; GRANEMANN, S. R. Mensuração econômica da emissão de CO₂ da frota dos transportadores autônomos de cargas brasileiros. *Journal of Transport Literature*, [S. l.], v. 6, n. 2, p. 234–252, 2012.

EIGENHEER, Emilio Maciel. *Lixo: a limpeza urbana através dos tempos*. 2009. Disponível em: <http://www.lixoeducacao.uerj.br/imagens/pdf/ahistoriadolixo.pdf>. Acesso em: 6 maio 2020.

GOUVEIA, Nelson. *Resíduos Sólidos Urbanos: impactos socioambientais e perspectivas de manejo e sustentável com inclusão social*. 2012. Disponível em: <https://www.scielo.org/article/csc/2012.v17n6/1503-1510/pt/>. Acesso em: 4 dez. 2019". <https://doi.org/10.1590/S1413-81232012000600014>

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2018. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>.

LACERDA, M. G. *Análise de Uso de SIG no Sistema de Coleta de Resíduos Domiciliares em uma Cidade de Pequeno Porte*. Dissertação (Mestrado) UNESP - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira. 147 p., 2003.

MIZIARA, Rosana. Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente. *Por uma história do lixo*. 2011. Disponível em: <http://www3.sp.senac.br/hotsites/blogs/InterfacEHS/wp-content/uploads/2013/07/art-6-2008-6.pdf>. Acesso em: 2 maio 2020.

NASCIMENTO, V. F.; SILVA, A. M. da; SOBRAL, A. C. *Indicação de áreas para aterro sanitário, utilizando geoprocessamento*. Saarbrücken: Novas Edições Acadêmicas, 2015.

NASCIMENTO, V. F. et al. Natural disaster risk in municipal solid waste disposal sites using GIS: a case study in São Paulo state, Brazil. *Journal of Water Resource and Protection*, [S. l.], v. 09, n. 01, p. 8–33, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/320468086_Natural_Disaster_Risk_in_Municipal_Solid_Waste_Disposal_Sites_Using_GIS_A_Case_Study_in_Sao_Paulo_State_Brazil. Acesso em: 10 maio 2020. <https://doi.org/10.4236/jgis.2017.91002>

NASCIMENTO, V. F.; DA SILVA, A. M. Identifying problems for choosing suitable areas for installation of a new landfill through GIS technology: A case study. *Journal of the Air and Waste Management Association*, [S. l.], v. 64, n. 1, p. 80–88, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10962247.2013.833558>. Acesso em: maio 2020". <https://doi.org/10.1080/10962247.2013.833558>

NASCIMENTO, V. F. et al. Municipal solid waste disposal in Brazil: improvements and challenges. *International Journal of Environment and Waste Management*, [S. l.], v. 23, n. 3, p. 300–318, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/332406093_Municipal_solid_waste_disposal_in_Brazil_Improvements_and_challenges. Acesso em: maio 2020. <https://doi.org/10.1504/IJEW.M.2019.10019834>

PRÓ-SINOS. *Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Novo Hamburgo*. 2012. Disponível em: http://www.consorcioprosinos.com.br/downloads/plano_gestao_residuos_solidos_novo_hamburgo_02082012.pdf. Acesso em: 10 jan. 2020.

RIBEIRO, Helena. *Panorama da coleta seletiva no Brasil: desafios e perspectivas a partir de três estudos de caso*. 2007. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Helena_Ribeiro4/publication/242243074_A_PANORAMA_OF_SELECTIVE_WASTE_COLLECTION_IN_BRAZIL_CHALLENGES_AND_PROSPECTS_TAKEN_FROM_3_CASESTUDIES/links/5661c26a08ae4931cd5b3ef3.pdf. Acesso em: maio 2020.

SARKIS, L. F. P. G. *Resíduos de Serviços de Saúde em Cidades de Médio Porte: Caracterização de Sistema de Coleta e Aplicação de um Sistema de Informação Geográfica na Roteirização de Veículos de Coleta e Transporte*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

SEEG - SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA. *Emissões de GEE no Brasil e suas implicações para Políticas Públicas e a Contribuição Brasileira para o Acordo de Paris*. Período 1970-2016. Observatório do clima, 2018. Disponível em: <http://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2018/08/Relatorios-SEEG-2018-Sintese-FINAL-v1.pdf>. Acesso em: maio 2020.

SOUZA, Vamberto Oliveira de. Educação Ambiental na efetivação de práticas ecológicas e coleta seletiva na Universidade Estadual da Paraíba. *Revista Brasileira de Educação Ambiental*, [S. l.], 2014. <https://doi.org/10.34024/revbea.2014.v9.1840>

SPINOLA, G. M. R. et al. Análise estatística da composição gravimétrica dos Resíduos Sólidos Urbanos com o Índice de Desenvolvimento Humano para os municípios do estado de São Paulo. *Geoambiente On-line*, [S. l.], n. 33, p. 106-123, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5216/revgeoamb.v0i33.53957>. Acesso em: 12 maio 2020. <https://doi.org/10.5216/revgeoamb.v0i33.53957>

Natan Ruan Machado Da Costa

Graduando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), em Porto Alegre, RS, Brasil.

Victor Fernandez Nascimento

Doutor em Ciências do Sistema Terrestre pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), em São José dos Campos, SP, Brasil; pós-doutor em Sensoriamento Remoto e professor na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), em Porto Alegre, RS, Brasil; mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Estadual Paulista (UNESP), em Bauru, SP, Brasil; graduado em Geografia pela Universidade Estadual Paulista (UNESP), em Ourinhos, SP, Brasil; professor na Faculdades Integradas de Taquara (FACCAT), em Taquara, RS, Brasil

Jean Pierre Henry Balbaud Ometto

Doutor em Ciências pela Universidade de São Paulo (USP), em Piracicaba, SP, Brasil; graduado e mestre em Agronomia; pesquisador e diretor do Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST) no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), em São José dos Campos, SP, Brasil.

Endereço para correspondência

Natan Ruan Machado da Costa/ Victor Fernandez Nascimento

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Av. Bento Gonçalves, 9500, Prédio 44.202, Gabinete 2
Agronomia, 90650001
Porto Alegre, RS, Brasil

Jean Pierre Henry Balbaud Ometto
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)
Av. dos Astronautas, 1758
Jardim da Granja, 12227010
São José dos Campos, SP, Brasil