IMPACTO DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS EM OBRAS LICENCIADAS DE DUTOS EM LOGRADOUROS RECÉM PAVIMENTADOS NO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE

IMPACT OF WASTE GENERATION IN LICENSED PIPELINE WORKS IN RECENTLY PAVED PUBLIC PLACES IN THE MUNICIPALITY OF BELO HORIZONTE

IMPACTO DE LA GENERACIÓN DE RESIDUOS EN OBRAS AUTORIZADAS DE TUBERÍAS EN VÍAS PÚBLICAS RECIENTEMENTE PAVIMENTADAS EN EL MUNICIPIO DE BELO HORIZONTE

10.56238/IIMultiCientifica-120

Henrique Jardim Raad
Mestre em Engenharia Civil
Instituição: Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)
E-mail: henriquejraad@gmail.com
Lattes: http://lattes.cnpq.br/2848936013056351

RESUMO
O setor da construção civil ainda nos dias atuais se caracteriza pela grande quantidade de movimentações e transformações de massas, com grande geração de impactos ao ambiente. Impactos originados de mecanismos de transformação de matérias-primas em produtos processados somam-se à grande quantidade de resíduos gerados nas fases de transporte, execução e, principalmente, demolição, posicionando o setor como o principal sistema de geração de danos ao ambiente no mundo. E, dentro deste setor, a área de execução de infraestrutura urbana enterrada ocupa lugar de destaque, já que em todo o mundo os métodos utilizados usualmente na execução das redes subterrâneas caracterizam-se pela manipulação de grandes quantidades de materiais e demolição de produtos construídos, dentre eles o revestimento asfáltico, exigindo olhar técnico que objetive a otimização dos processos envolvidos nesta área de atuação. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar quantitativamente a geração de resíduos de demolição de pavimentação asfáltica em obras de dutos subterrâneos licenciadas e realizadas no município de Belo Horizonte (Minas Gerais / Brasil) nos anos de 2021 e 2022 que tiveram interação com áreas onde o revestimento asfáltico demolido fora aplicado em prazo inferior a 24 meses da data de demolição do revestimento. Para a realização do estudo foram utilizadas as bases públicas de obras licenciadas do município avaliado, e os cruzamentos de intervenções foram feitos por ferramenta de georreferenciamento de alta precisão. Como resultados, constatou-se que foram gerados 2.149,94 m³ de resíduo de demolição de revestimento asfáltico recém aplicado nos anos de 2021 e 2022. O estudo demonstrou a importância do aumento do planejamento e da otimização dos métodos de implantação de infraestrutura urbana subterrânea, para que se garanta menor impacto ambiental pela menor geração de resíduos de demolição.

Palavras-chave: Resíduos. Infraestrutura. Construção. Logradouro. Sustentabilidade.

ABSTRACT
The civil construction sector is still characterized by a large number of mass movements and transformations, with great impacts on the environment. Impacts arising from mechanisms for transforming raw materials into processed products add to the large amount of waste generated in the transport, execution and, mainly, demolition phases, positioning the sector as the main system for generating damage to the environment in the world. And, within this sector, the area of execution of buried urban infrastructure occupies a prominent place, since throughout the world the methods usually used in the execution of underground networks are characterized by the manipulation of large quantities of materials and demolition of built products, including asphalt coating, requiring a technical approach aimed at optimizing the processes involved in this area of activity. In this context, this work aimed to quantitatively evaluate the generation of waste from demolition of asphalt paving in licensed underground pipeline works carried out in the municipality of Belo Horizonte (Minas Gerais / Brazil) in the years 2021 and 2022 that had interaction with areas where the demolished asphalt coating was applied less than 24 months from the date of demolition of the coating. To carry out the study, public databases of licensed works in the evaluated municipality were used, and interventions were crossed using a high-precision georeferencing tool. As a result, it was found that 2,149.94 m³ of demolition waste from newly applied asphalt coatings were generated in 2021 and 2022. The study demonstrated the importance of increasing planning and optimizing methods for implementing underground urban infrastructure, to ensure a lower environmental impact due to the lower generation of demolition waste.

Keywords: Waste. Infrastructure. Construction. Public Place. Sustainability.

RESUMEN
El sector de la construcción civil aún en la actualidad se caracteriza por la gran cantidad de movimientos y transformaciones de masas, con gran generación de impactos al ambiente. Impactos originados de mecanismos de transformación de materias primas en productos procesados se suman a la gran cantidad de residuos generados en las fases de transporte, ejecución y, principalmente, demolición, posicionando el sector como el principal sistema de generación de daños al ambiente en el mundo. Y, dentro de este sector, el área de ejecución de infraestructura urbana enterrada ocupa lugar de destaque, ya que en todo el mundo los métodos utilizados usualmente en la ejecución de las redes subterráneas se caracterizan por la manipulación de grandes cantidades de materiales y demolición de productos construidos, entre ellos el revestimiento asfáltico, exigiendo mirada técnica que objetive la optimización de los procesos involucrados en esta área de actuación. En este contexto, este trabajo tuvo como objetivo evaluar cuantitativamente la generación de residuos de demolición de pavimentación asfáltica en obras de ductos subterráneos licenciadas y realizadas en el municipio de Belo Horizonte (Minas Gerais / Brasil) en los años de 2021 y 2022 que tuvieron interacción con áreas donde el revestimiento asfáltico demolido fue aplicado en plazo inferior a 24 meses de la fecha de demolición del revestimiento. Para la realización del estudio se utilizaron las bases públicas de obras licenciadas del municipio evaluado, y los cruces de intervenciones fueron hechos por herramienta de georreferenciación de alta precisión. Como resultados, se constató que fueron generados 2.149,94 m³ de residuo de demolición de revestimiento asfáltico recientemente aplicado en los años de 2021 y 2022. El estudio demostró la importancia del aumento de la planificación y de la optimización de los métodos de implantación de infraestructura urbana subterránea, para que se garantice menor impacto ambiental por la menor generación de residuos de demolición.

Palabras clave: Residuos. Infraestructura. Construcción. Vía Pública. Sostenibilidad.

1 INTRODUÇÃO

O setor da construção civil nos dias atuais se caracteriza pela grande quantidade de movimentações e transformações de massas, com grande geração de impactos ao ambiente. Tais impactos são principalmente relacionados aos mecanismos de transformação de matérias-primas em produtos processados e à grande quantidade de resíduos gerados nas fases de transporte, execução e, principalmente, demolição, posicionando o setor como o principal sistema de geração de danos ao ambiente no mundo (KONZEN e PEREIRA, 2021).

Não raro, os impactos ambientais oriundos dos sistemas produtivos neste setor, principalmente em países como o Brasil, onde o índice de industrialização dos processos envolvidos ainda encontra-se incipiente frente à realidade de economias como as dos EUA, China e Europa, não são mensurados devidamente ou tem sua avaliação apenas ligada a estimativas de aumento de custos de produção com a etapa de descarte dos resíduos. Aryan, Dikshit e Shinde (2023) indicam em seu estudo que a preocupação quanto aos impactos ambientais é consideravelmente maior em países desenvolvidos do que nos países em desenvolvimento, sendo observado em estudo cienciométrico que 80% das 67 pesquisas relacionadas à avaliação de ciclo de vida de pavimentos e estruturas rodoviárias analisadas foram em países desenvolvidos. Krau *et al* (2021), em consonância, destacam que existem ainda poucos estudos no Brasil relacionados a impactos ambientais quando comparados ao restante do mundo.

Entretanto, o aumento progressivo da quantidade de resíduos sólidos, caracterizados como produtos inservíveis provenientes de processos industriais humanos, atividades comerciais, de construção e demolição (HU *et al*, 2020), aponta para volumes alarmantes de descarte anual nos próximos anos caso os países não alterem suas políticas de tratamento do assunto. O tratamento do tema com atenção especial foi iniciativa realizada por inúmeras nações, ainda no século XX, resultando em criação de mecanismos institucionais para controle das gerações de descartes nos diversos níveis e setores da economia. Dentre as principais iniciativas, destacam-se os mecanismos de mapeamento e conhecimento de fontes geradoras, a classificação de resíduos gerados e seus impactos potenciais e a determinação de sistemas de coleta controlada e incentivo ao reuso ou reciclagem.

Neste ínterim, sobre o mapeamento das fontes geradoras de resíduos, alguns sub-setores da indústria se destacam como agentes de elevado impacto e requerem especial atenção. Na construção civil, por exemplo, diversos focos geradores recebem destaque pela grande quantidade de matéria manipulada e descartada nos processos produtivos, ente eles os processos de reforma e demolição

predial, a manipulação de rejeitos do extrativismo mineral e, ainda os resíduos gerados pelos processos relacionados às obras de infraestrutura, com destaque para as construções de pavimentos (MAZZUCO *et al,* 2019).

Nagalli, Schneider e Schroh (2016) destacam que a Resolução nº 307 de 2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) considera como entulho da construção civil o resíduo proveniente de substituição ou retirada de pavimentação asfáltica, e indica a necessidade de destinação deste para reciclagem ou reutilização na forma de agregado ou, na sua impossibilidade, para aterros controlados. A crescente escassez, contudo, de oferta de áreas com esta finalidade dificulta o atendimento da resolução pelas unidades geradoras ou, comumente, até induz o descarte de tais resíduos ilegalmente, implicando em disposição no ambiente de forma inadequada de materiais com contaminação do solo e corpos de água e proliferação de vetores de importância sanitária, entre outros.

E, dentro deste contexto, a área de execução de infraestrutura urbana enterrada ocupa lugar de destaque, já que em todo o mundo os métodos utilizados usualmente na execução das redes subterrâneas caracterizam-se pela execução de valas a céu aberto, com a manipulação de grandes quantidades de materiais e demolição de produtos construídos, dentre eles o revestimento asfáltico, exigindo olhar técnico que objetive a otimização dos processos envolvidos nesta área de atuação.

Assim, tomando-se por base inicial a importância de mapeamento de fontes geradoras para o fomento futuro de estratégias de controle e disposição final, este trabalho teve como objetivo avaliar quantitativamente a geração de resíduos de demolição de pavimentação asfáltica em obras de dutos subterrâneos licenciadas realizadas no município de Belo Horizonte (Minas Gerais / Brasil) nos anos de 2021 e 2022 com relação aos volumes de demolição em áreas onde o revestimento asfáltico demolido possuía idade inferior a 24 meses da data de seu lançamento.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Os sistemas de produção da Indústria da Construção Civil (ICC) vêm progressivamente nos últimos anos presenciando mudanças consideráveis na concepção e forma dos diversos processos produtivos e produtos gerados, com destaque para economias como a do Japão, da União Européia (UE) e dos Estados Unidos (EUA), onde diversos fatores como a restrição na obtenção de matérias primas, o índice de envelhecimento populacional, a preocupação com a geração de resíduos e a alta competitividade do mercado, aceleram a urgência por otimização dos mecanismos produtivos deste setor.

Com isto, a necessidade constante de aumento da eficiência dos novos processos desenvolvidos no Brasil e no mundo e a urgência da adoção de políticas eficientes de gestão dos resíduos sólidos provenientes do setor da construção civil conduzem a preocupação atual deste setor para que sejam abandonadas velhas técnicas pouco produtivas e altamente geradoras de resíduos para a adoção de modelos que já são realidade nos países mais produtivos do mundo, mais eficientes e com menores índices de descarte agressivo e impactante de resíduos de construção. Estudos de otimização de processos visando, inclusive, a redução de impactos são experimentados atualmente em diversas partes do mundo, como o uso do *Building Information Modeling* (BIM) e Gêmeos Digitais (*Digital Twins*), com o objetivo de otimizar o uso de materiais e processos para tornar as construções eficientes ambientalmente (ORETO *et al*, 2023).

Hu *et al* (2020) destacam também a questão da escassez de aterros sanitários e locais disponíveis para depósito de resíduos de toda ordem, acentuando o grau de urgência para alerta e atuação imediata em medidas de emergência e em proporções globais.

Neste ínterim, torna-se inquestionável a necessidade de mapeamento e conhecimento das diversas fontes geradoras de resíduos para que a gestão de tais recursos seja feita de forma eficaz e com resultados reais para o ambiente em escala global.

2.1 RESÍDUOS E O PROBLEMA AMBIENTAL

Inúmeras tentativas significativas foram feitas para estudar as propriedades físicas, químicas e mecânicas de vários resíduos sólidos com o objetivo de reaproveitamento destes como matérias-primas na indústria da construção, aliviando assim a dependência de minerais virgens e o grau de esgotamento de aterros sanitários (HU *et al*, 2020).

Hassan *et al* (2007) destacam avanços no apontamento de reutilização de resíduos de construção e demolição e ainda de outras fontes em misturas asfálticas para pavimentação, com resultados importante em políticas de gestão pública de resíduos, como o caso de Massachusetts (EUA), onde Departamento de Meio Ambiente de Massachusetts permitiu o uso de solos contaminados contendo 3% de óleo, gasolina ou querosene e permitindo até 5% de substituição de solo contaminado em misturas de Concreto Betuminoso Usinado à Quente (CBUQ). Este mesmo autor ainda destaca que estudos realizados em New Jersey (EUA) apontaram para a eficiência de misturas asfálticas com a inserção de até 35% de solos contaminados pelos mesmos agentes citados acima.

Ogbo e Okhuoya (2008) estudaram os impactos na durabilidade e vida útil de alguns materiais, incluindo as misturas asfálticas, quando nestes se fizeram incorporados componentes contaminados por petróleo, como os solos contaminados. Em seu estudo, avaliaram a redução de hidrocarbonetos nestes solos contaminados quando tratados por inserções biodegradantes diversas, observando reduções nos danos e envelhecimento em alguns materiais que se utilizam de tais misturas contaminadas em razão da melhoria da qualidade destes insumos.

Alves, Poggiali e Azevedo (2019) avaliaram o estado da arte da utilização de resíduos de construção civil (RCC) como agregados graúdos reciclados em concretos misturados a adições pozolânicas, identificando que o encapsulamento destes resíduos por adições como a sílica ativa proporciona aumento de resistência à compressão destas misturas.

A importância de reaproveitamento de resíduos é também destacada por Saberi e Mohamed (2023), quando apresentam estudo sobre o reaproveitamento de resíduos de Pavimento Asfáltico Recuperado (RAP – *Reclaimed Asphalt Pavement*) em CBUQ. Neste estudo, os autores objetivaram avaliar teores ótimos de mistura de RAP para aplicação de CBUQ em revestimento de faixas de acostamentos rodoviários, com a determinação do teor de umidade ideal do material e o grau de compactação. Após a avaliação dos limites de Atterberg, liquidez e plástico de amostra de solo e RAP para diferentes composições, concluíram que a incorporação de 20% de RAP em solo para a mistura de CBUQ apresentou os melhores desempenhos entre os teores avaliados na resistência de suporte (CBR - *California Bearing Ratio*) e no comportamento na compactação.

Na mesma direção, Rocha Segundo, Castelo Branco e Vasconcelos (2016), ao estudarem três diferentes dosagens de Misturas Asfálticas Recicladas a Quente (MARQ) utilizando-se de RAP, concluíram que a mistura com maior concentração deste resíduo apresentou o melhor desempenho na resistência à tração, no módulo de resiliência, na deformação permanente (*creep* dinâmico) e no módulo dinâmico. Outro estudo abordando o reuso do RAP, este por Silva (2013), concluiu de forma similar que misturas asfálticas com este resíduo respondem de forma satisfatória. Pradyumna, Mittal e Jain (2013) também concluíram similarmente sobre o uso de RAP e o aumento de desempenho em misturas asfálticas. Pradyumna e Jain (2016) reforçaram ainda tal percepção ao estudar a incorporação de agentes químicos nas misturas asfálticas com RAP para otimizar as propriedades físico-químicas do betume oxidado presente no resíduo.

Em outro viés, um estudo, proposto por Chaiyaput, Sertsoongnern e Ayawanna (2022) avaliou o potencial de reutilização de pó residual da fabricação de concreto asfáltico com alto teor de cálcio

na estabilização de solos utilizados em camadas de base e sub-base de pavimentos. O estudo, realizado na Tailândia, concluiu que a utilização de 20% de inserção dos pós citados em misturas de solo resultou em elevado índice de suporte (CBR), índices de plasticidade, liquidez e dilatação acima dos especificados em normas locais. O uso do pó aumentou ainda a condição de empacotamento granular das misturas de solo.

O uso do resíduo de fresagem de revestimento asfáltico foi proposto por Sales (2022) em misturas de solo cimento para execução de camadas de pavimento, quando este constatou que o uso do teor do resíduo em até 50% do peso da mistura acarreta melhora na granulometria, reduz a plasticidade, aumenta a massa específica seca máxima, reduz a umidade ótima, aumenta o índice de suporte (CBR), reduz a expansão e aumenta a permeabilidade das misturas com o solo.

Em outra análise, o potencial de contaminação do solo por descarte de resíduos de revestimento asfáltico foi estudado por Nagalli *et al* (2015), que concluíram que a presença de Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (PAH's - Polycyclic Aromatic Hydrocarbons) é intensamente prejudicial ao solo, inclusive por conter substâncias classificadas como cancerígenas, recebendo atenção especial da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA – *The United States Environmental Protection Agency*). O estudo, que avaliou amostras de resíduos de pavimentação das cidades brasileiras de Curitiba e Paranaguá, reforça a importância de se monitorar a geração de resíduos de pavimentação.

A toxicidade e impactos potenciais de resíduos asfálticos foram também tratados por Luvizão e Trichês (2023) em estudo abordando o ciclo de vida de pavimentos asfálticos sob tipos de procedimentos de manutenção distintos. Nesta avaliação, os autores concluíram que o método de manutenção por reciclagem profunda se mostrou cerca de 47% menos impactante do que o método de reforço estrutural.

Ainda em relação aos resíduos de pavimentação, Moraes (2019) conclui, após estudo de 5 tipos de amostras de RAP, que o potencial contaminante deste material para os solos quando de seu descarte é elevado, com grande potencial de lixiviação e de ecotoxicidade, e presença de metais Al e Mn acima dos limites de norma nacional.

Yaro *et al* (2023), ao realizarem pesquisa exploratória e cienciométrica sobre o estado da arte da emissão de CO_2, observaram que a integração de resíduos como o RAP e borrachas reduzem consideravelmente o índices de emissão de dióxido de carbono em relação ao uso de materiais sem adição de resíduos.

2.2 PAVIMENTO ASFÁLTICO RECUPERADO - RAP

Define-se como Resíduo de Pavimentação Asfáltica – RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*), o resíduo gerado na remoção do pavimento a partir da fresagem, processo mecânico de corte ou desbaste de camada superficial de um pavimento asfáltico (MORAES, 2019).

Os RAP's são classificados como resíduos de Classe A pela resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 307/2002, indicando que estes podem ser reaproveitados como insumo de novo produto sob a forma de agregado. Esta mesma resolução, que classifica os resíduos da construção civil, define o agregado reciclado como "o material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção que apresentem características técnicas para a aplicação em obras de edificação, de infra-estrutura, em aterros sanitários ou outras obras de engenharia" (sic BRASIL, 2002). O não reaproveitamento destes resíduos (Classe A), segundo a resolução do CONAMA citada, deve seguir a recomendação de disposição obrigatória em aterro sanitário controlado e específico para materiais de mesma classe.

E, considerando pertencerem os resíduos de asfaltos a esta mesma classe, com base na indicação de sua classificação como material potencialmente perigoso pela resolução do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, o reuso ou a disposição destes deve ser sempre realizada de maneira controlada. A inobservância sobre a toxicidade no manejo e descarte destes materiais pode acarretar riscos de contaminação do solo, formação de material potencialmente combustível e ainda potencializar características contaminantes como "corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentando significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica" (sic BRASIL, 2012).

2.3 REDES DE INFRAESTRUTURA URBANA ENTERRADA

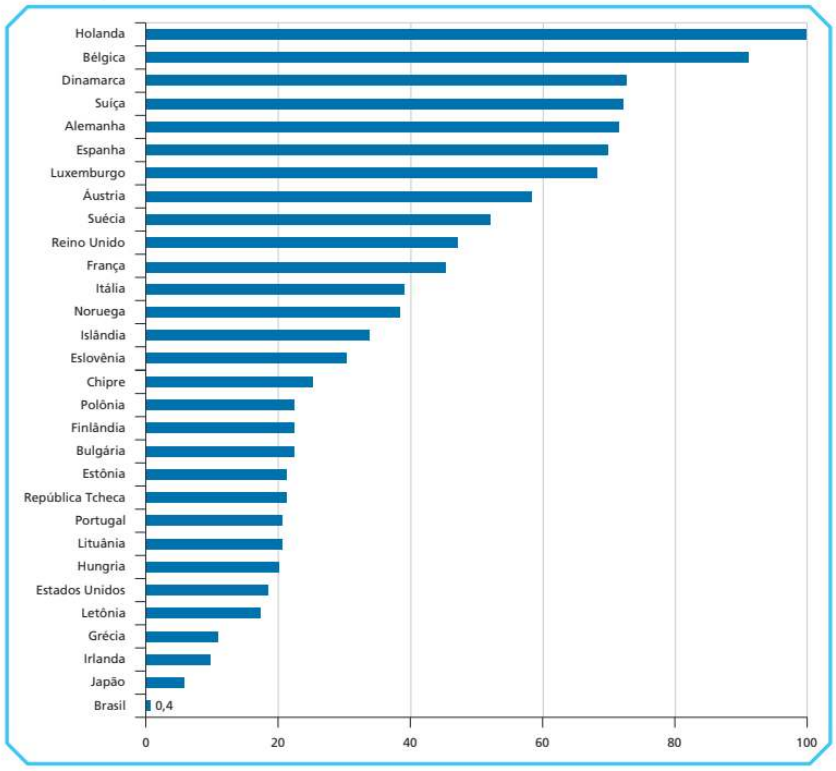
As redes de infraestrutura urbana, caracterizadas pelos sistemas de distribuição de serviços públicos como água potável, esgoto, gás, energia elétrica, telefonia, drenagem pluvial, são executadas nos ambientes urbanos públicos pelos sistemas aéreo, enterrado e superficial, conforme a natureza da rede e as características políticas, econômicas e legais da região de implantação. Destaca-se ainda que a diferença entre o uso do espaço urbano para tais redes entre o subsolo e o modo aéreo e superficial tem diferença considerável no custo de implantação, sendo o modo aéreo o sistema comumente com menor custo.

Entretanto, a utilização do subsolo urbano nos municípios tem sido ao longo das últimas décadas preocupação constante para o Poder Público Municipal, uma vez que seu uso desordenado progride rapidamente em função do surgimento de diversos serviços urbanos prestados por concessionárias que até poucos anos atrás não figuravam no contexto das cidades. Aliado a este surgimento de novas modalidades, é notório o crescimento acelerado na demanda destes serviços, já que presencia-se a popularização de tais atividades, diferentemente de outrora, já que estes são hoje acessíveis à grande maioria da população.

Outro ponto de destaque é a crescente necessidade de desobstrução visual dos equipamentos públicos instalados na superfície, sendo este parâmetro um termômetro que indica a intolerância dos cidadãos aos aspectos relacionados à qualidade de vida, que tem entre seus ramos a despoluição visual dos ambientes públicos.

Martins, Arango e Kubota (2022) destacam em seu estudo o avanço do enterramento de redes de energia elétrica e de telecomunicações no Brasil e no mundo, apontando que a penetração de redes subterrâneas em alguns países desenvolvidos da Europa em relação ao total de rede instalada é muito alta, enquanto no Brasil é baixíssima, aproximadamente 0,4%. Tal estudo aponta a tendência atual da mudança da forma de instalação das redes e, ainda, destaca o grande caminho a ser percorrido pelo Brasil para seguir na mesma direção. Destaca-se ainda que as redes de água potável, esgoto, gás e drenagem já cumprem percentual considerável de redes sob a superfície há muitos anos no país. A ***Figura 1*** apresenta percentuais de redes de energia elétrica e telecomunicações enterradas em relação ao total de redes instaladas no país (MARTINS, ARANGO e KUBOTA, 2022).

Figura 1. Percentuais de redes enterradas em alguns países do mundo

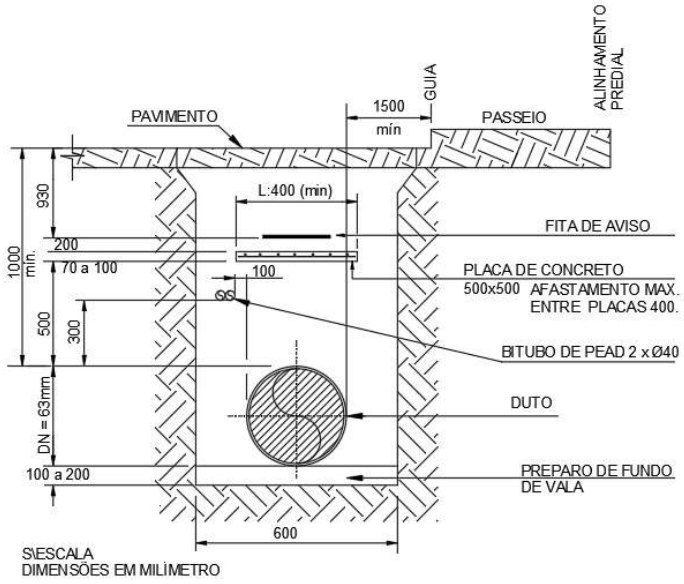


Fonte: Adaptado de Martins, Arango e Kubota (2022)

As valas para enterramento das redes são usualmente realizadas conforme diâmetros das tubulações das redes enterradas e ainda critérios de execução, como largura de equipamentos de corte para os cortes mecanizados e largura mínima de corte manual com escoramento de vala para cortes manuais.

A ***Figura 2*** exemplifica um corte típico de vala para enterramento de rede.

Figura 2. Corte típico de vala para enterramento de rede



Fonte: Acervo do Autor

As valas podem ser executadas por dois métodos: o primeiro, conhecido como “Método Destrutivo – MD”, onde é feita abertura integral da vala a céu aberto, com remoção integral do material componente da vala, inclusive revestimento, e preenchimento posterior com material compactado pelo próprio material removido ou complementos externos, sendo ainda comum a existência da necessidade de bota fora do material excedente; o segundo, denominado “Método Não Destrutivo – MND”, onde são feitas aberturas de janelas de visita onde são instalados equipamentos de perfuração subterrânea por meio de sondas, com remoção de material e recomposição apenas nas regiões das janelas de acesso ao subsolo, denominadas “pontos de ataque”.

A escolha do método de execução da rede é feita por critérios de custo e, principalmente, a de densidade de redes enterradas na região da intervenção, visto que a presença de redes no subsolo dificulta e até inviabiliza o método MND pelo risco de ruptura de redes de terceiros.

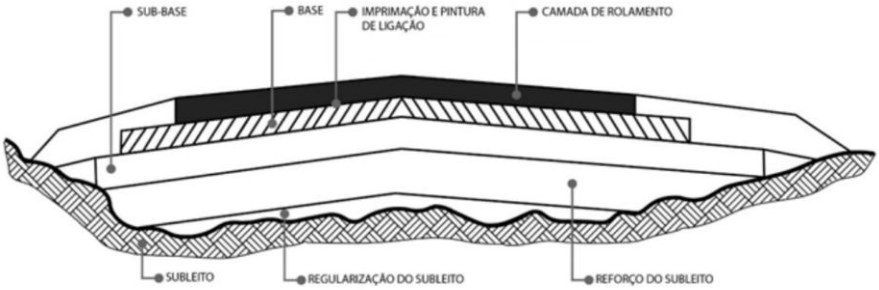
2.4 CARACTERÍSTICAS DOS REVESTIMENTOS EM LOGRADOUROS NO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE

Conforme BELO HORIZONTE (2022), as camadas de composição dos logradouros públicos, seguindo especificações baseadas em normas do DNIT e DEER-MG, trabalham com espessuras dimensionadas para tráfegos com eixo padrão de 8,2 toneladas e o dimensionamento segue parâmetros

baseados no Índice de Suporte Califórnia dos materiais constituintes, obtido pelo teste CBR (*California Bearing Ratio*).

As camadas do pavimento típico, como mostrado na ***Figura 3***, indicam a sequência executiva, composta por materiais de diferentes especificações.

Figura 3. Corte típico de pavimento



Fonte: Adaptado de BELO HORIZONTE (2022)

Por padrão do município, frente às características de tráfego local, adota-se para a espessura mínima de camadas de base o valor de 15 (quinze) centímetros, valor este calculado frente aos carregamentos gerados pelo tráfego e o tempo de vida útil projetada para o pavimento. Já para o revestimento, aceita-se variações de no máximo 10% (dez por cento) sobre o valor de projeto, que, conforme método de dosagem DNER 667/22, deve ser igual ou superior a 5 cm (DNER, 1981).

Os materiais permitidos para utilização das camadas do pavimento, desde camadas de estrutura até o revestimento vão desde solos estabilizados naturalmente, as misturas de solos, os materiais britados, os materiais cimentados, asfálticos e reciclados diversos, com destaque para RCD's (Resíduos de Construção e Demolição) e RAP's (BELO HORIZONTE, 2022).

Para dimensionamento de processos de transporte dos materiais, adota-se como padrão valores de empolamento do material aplicado sobre o volume do material compactado. No município de Belo Horizonte, para a realização de medições visando fiscalização de contratos, os valores de empolamento considerados são de 25% para material terroso e 30% para resíduos de demolição.

Considera-se ainda, em relação à etapa de imprimação e pintura de ligação, que o material aplicado para aumentar a aderência entre camada de revestimento e o material da base, de acordo com sua viscosidade, pode penetrar pelo material da base, gerando sua contaminação e a necessidade de caracterização de impacto no caso de tentativa de reaproveitamento futuro.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo, com caráter inicial embasado em pesquisa exploratória desenvolvida pela observação do estado da arte, e, posteriormente, construído em pesquisa *ex-post facto*, buscou identificar quantitativamente a ocorrência de processos de geração de resíduos de pavimento asfáltico por demolição destes tipos de revestimentos em locais onde foram removidos após prazo de aplicação inferior a 24 meses, tempo este muito menor do que a vida útil estimada para sua durabilidade natural.

A técnica utilizada no levantamento de dados foi o de consulta direta às bases de dados georreferenciados de obras licenciadas no município de Belo Horizonte, Minas Gerais (Brasil), dados estes públicos e oficiais.

Para a comparação, foram realizados agrupamentos dos dados relativos à posição e às tipologias de obras em logradouro público executados nesse município, e, posteriormente, através de técnica de sobreposição georreferenciada, foram relacionados os dados alfanuméricos e extraídos os resultados objeto deste estudo. Os resultados foram agrupados em tabelas, para avaliação de existência de variações ou intercorrências de dados que, de alguma forma pudessem distorcer ou mascarar as tendências. Um dos principais pontos de atenção foi o de existência de dados redundantes de obras executadas em uma mesma posição, uma vez que o levantamento realizado utilizou sistema de comparação automatizado de sobreposição através do software QGIS, e, para que as repetições não gerassem contagem duplicada nas áreas de demolição levantadas no estudo.

A seguir estão detalhados os métodos desenvolvidos no trabalho.

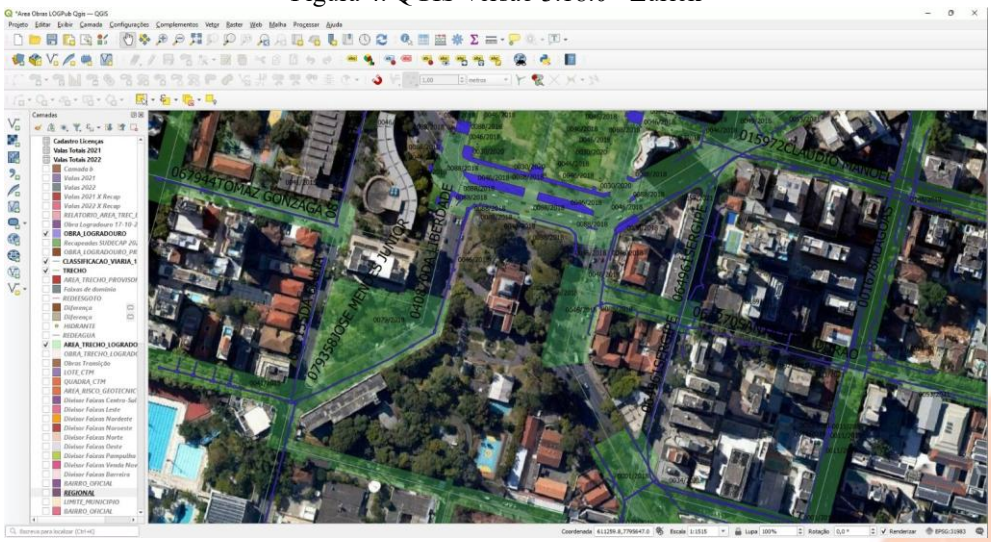
3.1 SOFTWARE QGIS

O software QGIS é uma ferramenta GIS (Sistema de Informação Geográfica – SIG, ou *Geographic Information System* - GIS) livre e de código aberto (*free and open source software* – FOSS), desenvolvido pela OSGeo - Open Source Geospatial Foundation, que permite a realização de inúmeras funções baseadas na construção de mapeamentos vetoriais georreferenciados ou não, através de informações gráficas vinculadas a sistemas de banco de dados alfanuméricos, permitindo a utilização de dados em formatos de vetores, *rasters* e outras bases de dados (***Figura 4***).

Neste software, os desenvolvedores recebem contribuições diretas de voluntários, (usuários ou desenvolvedores autônomos), aumentando progressivamente o alcance e a quantidade de funcionalidades da aplicação, que, a partir destas contribuições, vai se tornando continuamente mais

robusta, sendo geradas versões de atualização periódicas e que trazem, cada vez mais, novas ferramentas de trabalho SIG.

Figura 4. QGIS Versão 3.18.0 - Zurick



Fonte: Acervo do autor

Entre as funcionalidades do QGIS, destacam-se a construção de bases de dados de informações alfanuméricas vinculadas a mapas gráficos que utilizam-se de sistemas georreferenciados, e os trabalhos de análise e interação nestes dados através de ferramentas de construção, edição, busca e correlacionamento.

No presente estudo foi utilizada a versão 3.18.0 – Zurick, lançada em 2021.

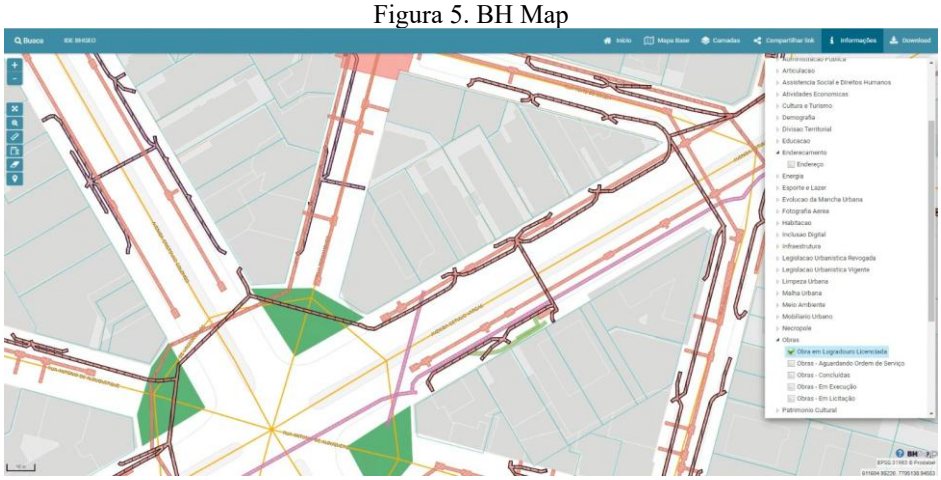
3.2 BH MAP – BASE DE DADOS PÚBLICA DO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE

O BH Map é uma base de dados pública georreferenciada mantida pelo município de Belo Horizonte (Brasil), cujas informações tem caráter oficial e são baseadas em informações de documentos, certidões e relatórios de serviços públicos desenvolvidos, com valor legal e fé pública. O sistema de referência geográfico utilizado pela base é o SIRGAS 2000 (UTM Zone 23S).

Entre suas bases encontram-se informações relacionadas às diversas áreas de gestão pública, seja nas áreas da saúde, educação, planejamento urbano e infraestrutura do município.

No BH Map, as informações são separadas em camadas de áreas de interesse distintas, mas que se correlacionam por posição geográfica ou por dados-chave comuns (id – *identity*), conforme destacado na ***Figura 5***.

Figura 5. BH Map



Fonte: BH Map – Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (2023)

No presente trabalho, foram consultadas camadas mantidas pelo setor de gestão de obras em logradouros públicos do município, alimentadas através do cadastro georreferenciado de projetos licenciados de obras em logradouros públicos. As informações constante da base são alimentadas após análise de projetos das intervenções construtivas situadas em logradouro e posterior vistoria técnica "in loco" para verificação da conformidade de execução e recomposição.

As intervenções em logradouro público vão desde a execução de instalação de redes subterrâneas em valas construídas a céu-aberto (MD – Método Destrutivo) ou por mecanismos de perfuração subterrânea (MND – Método Não Destrutivo) até a instalação de equipamentos e elementos diversos, designados pela legislação local como "mobiliários urbanos", passando por serviços de construção ou recapeamento de vias e recomposição de revestimentos, obras de implantação de equipamentos públicos (praças e parques públicos), elementos de apoio ao trânsito (sinalizações, obras de arte), entre outros.

3.3 DADOS DE TRABALHO

O desenvolvimento do presente estudo foi feito com base nos dados registrados no banco de dados BH Map, utilizando ferramenta de trabalho QGIS, onde as bases foram carregadas em área de trabalho local e editadas, com a aplicação de filtros e ferramentas de seleção e tratamento.

Foram separadas as bases de dados de áreas de limite de logradouros públicos, onde consta toda a área de projeção de delimitação dos logradouros públicos do município de Belo Horizonte (incluindo ruas, praças, parques públicos, equipamentos de uso público diversos, excetuando-se terrenos e propriedades privadas), as bases de dados contendo todas as obras licenciadas no município

localizadas em logradouro público (contidos na camada citada anteriormente), além das bases de informações gerais, como base de endereços, loteamentos e demais informações de parcelamento do solo.

Em seguida, foram realizados os seguintes passos para separação, tratamento e análise dos dados:

- Tratamento das bases de obras, com exclusão de todas as intervenções realizadas antes do ano de 2021 e posteriores ao ano de 2022, de forma que os dados remanescentes retratassem o período de intervenção entre o dia 01/01/2021 a 31/12/2022. Os filtros foram utilizados tomando-se por base as datas de execução das obras cadastradas em cada registro de execução.
- Separação das obras filtradas no passo anterior em "obras de recapeamento asfáltico" e "obras de valas com quebra de revestimento".
- Construção de camada georreferenciada contendo as áreas de interseção de obras executadas sobre obras de execução de revestimento novo (com até dois anos de aplicação).
- Cálculo automatizado das áreas de projeção das regiões de interseção filtradas no passo anterior, com precisão de 1 (um) metro quadrado.
- Cálculo dos volumes totais de resíduos gerados, pela multiplicação das áreas totais encontradas pela espessura média do revestimento padrão adotado no município de Belo Horizonte. Considerando o padrão adotado pela BELO HORIZONTE (2022), considera-se como valor total a espessura de 20 cm, composta por 5 cm de revestimento e 15 cm de camada de material terroso da camada de base contaminado por imprimação.
- Aplicação do índice de empolamento ao resíduo gerado, considerando a característica granulométrica final deste. Tomando por base os critérios definidos em BELO HORIZONTE (2022), o índice de empolamento utilizado foi de 30%.

Para o cálculo dos volumes de resíduos com empolamento, adota-se a ***Equação 1*** a seguir, sendo "V" o volume de resíduo gerado com empolamento e "S" a área do polígono da intervenção:

$$V = (S \times 0{,}20) \times 1{,}3 \qquad (1)$$

Os valores dos resultados finais foram representados em tabelas de levantamento separados por ano de intervenção.

3.4 DISCUSSÕES SOBRE O MÉTODO UTILIZADO

As informações coletadas nas bases mantidas pela administração municipal de Belo Horizonte representam apenas os registros de obras cuja execução foi precedida de licenciamento junto ao município, o que indica que os valores obtidos representam apenas registro parcial da realidade de intervenções ocorridas no município no período de análise. Apesar de ser explícito o entendimento de que grande parte das intervenções em logradouros públicos não são precedidas de licença junto ao poder público, não existem índices que representem com clareza esta distorção. Apesar disto, o apontamento levantado por esta metodologia visou estabelecer um padrão de geração de resíduos anual, contribuindo para estudos futuros de reaproveitamento e ainda análises de ciclo de vida.

Outro ponto de destaque relaciona-se à precisão das representações georreferenciadas na base de dados de consulta, que possui erro relativo estimado na ordem de 15% entre a largura representada nas valas e a situação real, proveniente da adaptação do modelo de georreferenciamento constituído por representações sobre base teórica proveniente de plantas de parcelamento do solo aprovadas no município e a adaptação ao modelo de correção aerofotogramétrico da cidade, com ligeira distorção entre os dois modelos para sua compatibilização. Estas diferenças podem ser observadas entre os limites de informações geográficas das plantas de lotes e quarteirões e as posições dos limites de logradouro trazidos pelas imagens georreferenciadas, sendo mínima na maior parte do município, mas atingindo erros de até 30 cm em alguns pontos.

As intervenções em Método Destrutivo (MD) são devidamente representadas nas bases, com sua largura de implantação de vala corretamente representada, entretanto, o Método Não Destrutivo (MND), por usar janelas de ataque para inserção de sondas com largura muito superior à vala representada, implicam em valores sensivelmente maiores de quebra de revestimento nas obras representadas. Este acréscimo, entretanto, não foi considerado neste estudo, devido à impossibilidade de mensurar as posições de tais pontos no modelo de informações consultado.

As intervenções em passeio, complementares ao prolongamento das redes representadas e mensuradas neste estudo, não foram consideradas, indicando campo potencial de estudo futuro.

Em outra análise, a ordem de ocorrência entre execução de uma vala com quebra de revestimento e a realização de recapeamento asfáltico não interferiram no presente estudo, uma vez que, independentemente se a vala executada fora anterior ou posterior ao recapeamento, em ambos os casos ocorrera a quebra e remoção do volume de resíduos estudado em revestimento com menos de 24 meses de vida. Esta estratégia permitiu que a análise ficasse restrita, de forma conceitual, à análise das

intervenções ocorridas no ano de 2021 e 2022, sem a necessidade de levantamento de obras em anos anteriores para os casos de valas executadas no início ou ao longo do ano de 2021.

Por fim, a diversidade de tipos de materiais de execução e as respectivas resistências exigidas para os diversos tipos de vias implicou em grande diversidade de espessuras de base e revestimento projetadas, o que inviabilizou, no presente estudo, a aplicação de espessuras diferenciadas nos processos de cálculo de volumes, sendo, portanto, adotados os valores mínimos exigidos pela BELO HORIZONTE (2022) para espessuras de base contaminada e revestimento. Esta opção indica que o estudo adota linha conservadora ao mensurar a quantidade real de resíduo gerada, o que ainda implica em considerar-se que o volume real será ainda maior.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando os procedimentos descritos no capítulo de metodologia, foram encontrados os resultados descritos no presente capítulo.

4.1 SEPARAÇÃO DA CAMADA DE POLÍGONOS DE OBRAS DE VIAS RECAPEADAS

A camada de obras de vias recapeadas licenciadas nos anos de 2021 e 2022 no município de Belo Horizonte, Minas Gerais (Brasil) pode ser observada na ***Figura 6***.

Figura 6. Polígono das obras recapeadas nos anos de 2021 e 2022

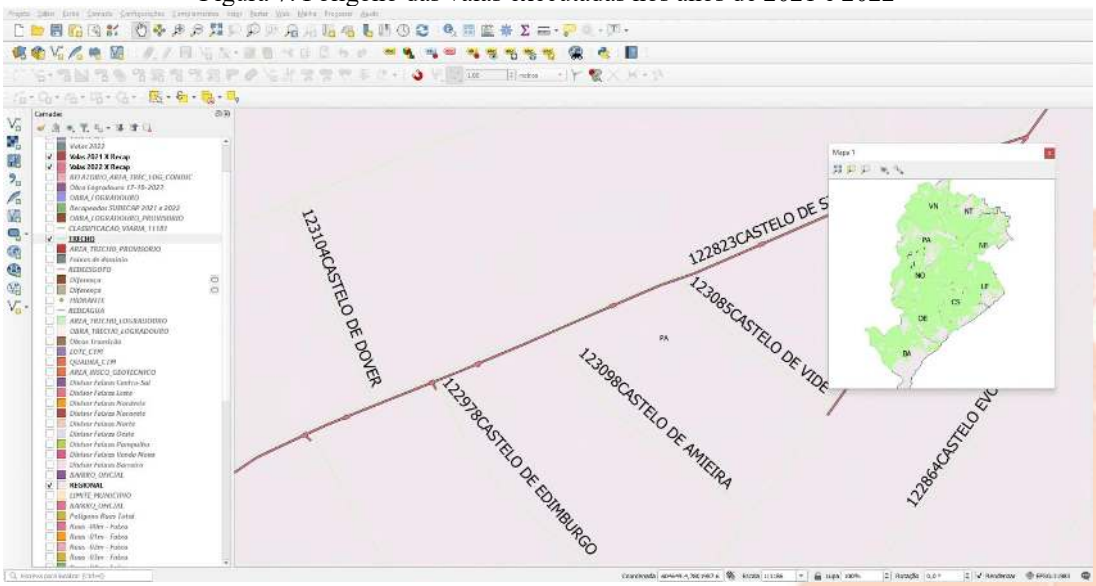


Fonte: Acervo do autor

Na imagem, os polígonos em destaque representam as posições dos polígonos que representam as áreas de projeção das superfícies recapeadas.

A seguir, pelo levantamento e aplicação de filtro de separação para as obras de valas no município nos anos de 2021 e 2022, obtiveram-se as camadas de informações utilizadas no estudo, conforme ***Figura 7***.

Figura 7. Polígono das valas executadas nos anos de 2021 e 2022



Fonte: Acervo do autor

4.2 TRATAMENTO DE DADOS E SOBREPOSIÇÃO DAS BASES

Uma vez considerados os agrupamentos de dados obtidos, foi realizada sobreposição, com a obtenção de valores de interseção de polígonos de recapeamento e de valas executadas, donde se construíram as ***Tabela 1*** à ***Tabela 4***.

A ***Tabela 1*** indica a quantidade total de licenças de obras em logradouros públicos emitidas pelo município referentes às obras executadas no ano de 2021, excluídas as intervenções de recapeamento ou execução de pavimento novo.

A ***Tabela 2***, na mesma orientação, indica o total de obras licenciadas de valas executadas no ano de 2022 (sem recapeamentos e pavimentos novos).

Tabela 1. Total de polígonos de valas licenciadas executadas – base 2021

Quantidade de Licenças	Tipologia da Vala	Área total dos Polígonos (m²)	Percentual sobre Área*
17	Água e Esgoto	4.870	4,54%
13	Energia Elétrica	1.402	1,31%
6	Gasoduto	43.604	40,63%
117	Telefonia	26.329	24,53%
95	Trânsito	27.120	25,27%
2	Outros	4.004	3,73%
Total	-	*107.329*	-

* Percentual que representa a quantidade de interseção levantada para a tipologia indicada frente ao total de interseção medido no ano de 2022
Fonte: Acervo do autor

Tabela 2. Total de polígonos de valas licenciadas executadas – base 2022

Quantidade de Licenças	Tipologia da Vala	Área total dos Polígonos (m²)	Percentual sobre Área*
41	Água e Esgoto	16.710	7,39%
53	Energia Elétrica	1.264	0,56%
21	Gasoduto	44.611	19,74%
158	Telefonia	6.369	2,82%
223	Trânsito	103.122	45,63%
58	Outros	53.944	23,87%
Total	-	*226.020*	-

* Percentual que representa a quantidade levantada para a tipologia indicada frente ao total medido no ano de 2021
Fonte: Acervo do autor

A ***Tabela 3*** apresenta o total de polígonos de interseção entre valas e intervenções licenciadas executadas em logradouros no ano de 2021 cujo revestimento asfáltico fora executado ou reconstruído nos anos de 2021 e 2022. Destaca-se que tanto a execução de revestimento asfáltico novo sobre vala recém-executada quanto o processo inverso resultam em remoção precoce de pavimentos. Essa interdependência justifica a janela temporal adotada, na qual a base de dados de intervenções de 2021 foi cruzada com o histórico de pavimentação dos anos de 2021 e 2022 para identificar os impactos retroativos e futuros.

A ***Tabela 4***, analogamente, representa as interseções executadas em 2022 sobre os revestimentos considerados no mesmo período.

Tabela 3. Interseções entre valas e recapeamentos – base 2021

Quantidade de Licenças	Tipologia da Vala	Área total dos Polígonos (m²)	Percentual sobre Área*
0	Água e Esgoto	0,00	0,00%
0	Energia Elétrica	0,00	0,00%
1	Gasoduto	2.084	60,02%
10	Telefonia	589	16,96%
4	Trânsito	732	21,08%
1	Outros	67	1,93%
Total	-	*3.472*	-

* Percentual que representa a quantidade levantada para a tipologia indicada frente ao total medido no ano de 2022
Fonte: Acervo do autor

Tabela 4. Interseções entre valas e recapeamentos – base 2022

Quantidade de Licenças	Tipologia da Vala	Área total dos Polígonos (m²)	Percentual sobre Área*
2	Água e Esgoto	139	2,90%
0	Energia Elétrica	0	0,00%
5	Gasoduto	2.888	60,20%
18	Telefonia	242	5,04%
2	Trânsito	320	6,67%
1	Outros	1.208	25,18%
Total	-	*4.797*	-

* Percentual que representa a quantidade de interseção levantada para a tipologia indicada frente ao total de interseção medido no ano de 2021
Fonte: Acervo do autor

4.3 VOLUMES DE RAP GERADOS

Considerando os valores totais de áreas contendo as relações de interseção entre valas e regiões de construção ou recapeamento de pavimentos, adotando a Equação 1, encontram-se os resultados destacados na ***Tabela 5***.

Assim, considerando a metodologia empregado neste estudo, encontrou-se como resultado que houve uma geração de 1.653,80 m³ de RAP compactado, gerando 2.149,94 m³ deste resíduo, considerando o empolamento de 30%, nos anos de 2021 e 2022 no município de Belo Horizonte. Este estudo lançou esclarecimentos acerca da necessidade de aumentar-se a preocupação com o planejamento nas políticas de intervenção urbana que visam a atender as necessidades de prestação de serviços públicos através da implementação de infraestrutura de redes.

Tabela 5. Volume total de RAP entre polígonos de valas em recapeamentos

Natureza da Vala (Tipologia)	Área total dos Polígonos (m²)	Volume sem Empolamento	Volume com Empolamento
Água e Esgoto	139	27,80 m³	36,14 m³
Energia Elétrica	0	0,00 m³	0,00 m³
Gasoduto	4.972	994,40 m³	1.292,72 m³
Telefonia	831	166,20 m³	216,06 m³
Trânsito	1.052	210,40 m³	273,52 m³
Outros	1.275	255,00 m³	331,50 m³
Total	*8.269*	*1.653,80* m³	*2.149,94* m³

Fonte: Acervo do autor

Destaca-se a grande quantidade de resíduos gerados em obras de implantação de gasodutos, sendo importante destacar que esta distorção em relação às demais tipologias devido ao fato de as demais redes possuírem grande extensão executada em passeios, fora da pista de rolamento, enquanto que a rede de gás é predominantemente instalada sob o asfalto.

Outra observação importante é que as redes de água e esgoto são executadas no município de Belo Horizonte sem licenciamento prévio, devido ao caráter emergencial deste tipo de intervenção, gerando grande defasagem entre a situação real e a do acervo licenciado.

Enfim, considerando-se a classificação deste tipo de resíduo como potencialmente perigoso, a geração constante deste material deve receber atenção especial para que medidas de redução dos impactos sejam assumidas em curto espaço de tempo. Nesta direção, a adoção de políticas públicas que estimulem o melhor planejamento na execução de obras e o incentivo à realização de processos que busquem a reutilização eficaz do RAP são caminhos urgentes e essenciais para a redução dos danos gerados anualmente pela expansão urbana, principalmente em cenários onde os planos de crescimento sustentável são ineficientes.

5 CONCLUSÃO

Os impactos ambientais oriundos dos sistemas produtivos na construção civil, principalmente em países como o Brasil, onde o índice de industrialização dos processos envolvidos ainda encontra-se incipiente, requer a adoção de políticas públicas que objetivem o fomento ao controle de emissão de resíduos pelos diversos agentes produtivos.

Neste aspecto, as intervenções em serviços relativos à infraestrutura urbana, especialmente por movimentarem grande quantidade de recursos, devem sempre ter como norte o planejamento adequado e a mensuração dos impactos gerados no processo de produção.

No caso do município de Belo Horizonte, este estudo, através de sobreposição de dados georreferenciados, concluiu que nos anos de 2021 e 2022 foi gerada grande quantidade de resíduos provenientes de demolição de pavimentação asfáltica nova, com até dois anos de execução, encurtando a vida útil esperada para esta e gerando valores elevados de resíduos antes do tempo mínimo estimado para estes materiais. Houve uma geração de 1.653,80 m³ de RAP compactado, o equivalente a 2.149,94 m³ deste resíduo, considerando o empolamento de 30%, nos anos de 2021 e 2022.

O estudo ainda destacou que determinadas tipologias de obras caracterizaram maior geração de RAP por serem comumente executadas no subsolo dos logradouros sob a camada asfáltica, em detrimento às intervenções executadas predominantemente sob os passeios (calçadas), como é o caso das obras de implantação de gasodutos.

Neste ínterim, o aumento da preocupação e a melhoria nas estratégias de planejamento nas frentes de implantação de infraestrutura urbana podem atenuar ou até eliminar o problema medido, sendo tais ações urgentes devido ao grande impacto gerado neste setor, que movimenta grandes volumes de materiais em todo o mundo.

REFERÊNCIAS

ALVES, Guilherme Victor de Oliveira; POGGIALI, Flávia Spitale Jacques; AZEVEDO, Rogério Cabral de. Análise bibliográfica do uso de adições pozolânicas e métodos de mistura modificados em concretos de agregados reciclados. In: **Encontro Nacional Sobre Reaproveitamento de Resíduos na Construção Civil, 6.,** 2019, Porto Alegre: ANTAC, 2019. P.678-693.

ARYAN, Yash; DIKSHIT, Anil Kumar; SHINDE, Amar Mohan. A Critical Review of the Life Cycle Assessment Studies on Road Pavements and Road Infrastructures. **Journal of Environmental Management**, v.336, art. 117697, 2023. DOI: 10.1016/j.jenvman.2023. 117697.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA), Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução nº. 307, de 05 de julho de 2002**. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 136, p. 95-96, 17 jul. 2002. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?id=305.&option=com_sisconama&task=arquivo.download. Acesso em 11 jul. 2026.

BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Instrução Normativa n.º 13, de 18 de dezembro de 2012**. Publica a Lista Brasileira de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 149, n. 245, p. 200, 20 dez. 2012. Disponível em: https://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?legislacao=128945&view=legislacao. Acesso em: 11 jul. 2026.

CHAIYAPUT, Salisa; SERTSOONGNERN, Pimchanok; AYAWANNA, Jiratchaya. Utilization of Waste Dust from Asphalt Concrete Manufacturing as a Sustainable Subbase Course Material in Pavement Structures. **Sustainability**, v. 14, n. 16, art. 9804, 2022. DOI: 10.3390/su14169804.

BRASIL. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Método de projeto de pavimentos flexíveis**. 3. ed. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 1981. (Publicação IPR 667). Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/667_metodo_de_projeto_de_pavimentos_flexiveis.pdf. Acesso em: 11 jul. 2026.

HASSAN, Hossam F.; AL RAWAS, Amer; HAGO, Abdel Wahid; JAMRAH, Ahmad; AL-FUTAISI, Ahmed; AL-SABQI, Talal. Investigation of permeability and leaching of hot mix asphalt concrete containing oil-contaminated soils. **Construction and Building Materials**, v. 21, n. 10, p. 1883-1890, 2007. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2007.01.017.

HU, Rui; XIE, Jian; WU, Shaopeng; YANG, Chao; YANG, Dawei. Study of toxicity assessment of heavy metals from steel slag and its asphalt mixture. **Materials**, v. 13, n. 12, art. 2768, 2020. DOI: 10.3390/ma13122768.

KRAU, Marcela Maria Toscano; ENRÍQUEZ-LEÓN, Alexis Jair; ARAGÃO, Francisco Thiago Sacramento; CALDAS, Lucas Rosse; TOLEDO FILHO, Romildo Dias; NASCIMENTO, Luis Alberto Herrmann do. Avaliação do ciclo de vida (ACV) na pavimentação asfáltica: uma revisão sistemática da literatura. In: **Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 35.**, 2021. Anais [...]. Rio de Janeiro: ANPET, 2021. p. 612-621

KONZEN, Bárbara Anne Dalla Vechia; PEREIRA, Andréa Franco. O impacto ambiental do aproveitamento de resíduos no setor da construção civil: revisão bibliográfica sob a visão do ciclo de vida. In: **Encontro Nacional de Aproveitamento de Resíduos na Construção, 7.**, 2021. Anais [...]. Porto Alegre: Atena Editora, 2021. p. 450-460. DOI: 10.22533/at.ed.81921081159

LUVIZÃO, Gislaine; TRICHÊS, Glicério. Case study on life cycle assessment applied to road restoration methods. **Sustainability**, v. 15, n. 8, art. 6679, 2023. DOI: 10.3390/su15086679.

MARTINS, Bruna de Abreu; ARANGO, Lucas Gustavo; KUBOTA, Luis Claudio. **Análise sobre o enterramento de infraestrutura de redes dos setores de distribuição de energia e telecomunicações**. Brasília, DF: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 2022. (Texto para Discussão, n. 2727). Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/server/api/core/bitstreams/8bb42124-9763-44bf-aae4-c48ff82aa65c/content. Acesso em: 11 jul. 2026.

MAZZUCO, Augusto; SCHUSTER, Bruna Schmitt; TABONI JUNIOR, Luiz Roberto; VIOTTO, Hugo Gabriel Fernandes; SOARES, Ana Cláudia Valério. O estado da arte da reciclagem de pavimentos asfálticos no Brasil. In: **Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 10**., 2019, Fortaleza, CE. Anais [...]. Bauru: Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais (IBEAS), 2019. Disponível em: https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2019/III-097.pdf. Acesso em: 11 jul. 2026.

MORAES, Diego. **Determinação de metais, HPAs e ecotoxicidade em amostras de lixiviados de resíduos de pavimentação asfáltica**. 2019. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/23610. Acesso em: 11 jul. 2026.

NAGALLI, André; SCHNEIDER, Emanuelle Dayane; PORFÍRIO, Maria Aparecida Silva; SCHROH, Mariana Reinert; SCHAMNE, Annelise Nairne; MARTINS, Lucia Regina Rocha; MYMRINE, Vsévolod. Potential of environmental contamination associated with disposal of asphalt waste in soil. **Electronic Journal of Geotechnical Engineering**, v. 20, n. 14, p. 5957-5968, 2015.

NAGALLI, André; SCHNEIDER, Emanuelle Dayane; SCHROH, Mariana Reinert. Investigação do potencial de contaminação ambiental associado à disposição em solo de resíduos asfálticos. **ANAP Brasil**, v. 9, n. 17, p. 25-34, 2016. DOI: 10.17271/1984324091720161446.

OGBO, Erute Magdalene; OKHUOYA, John Ariyo. Biodegradation of aliphatic, aromatic, resinic and asphaltic fractions of crude oil contaminated soils by Pleurotus tuber-regium Fr. Singer – a white rot fungus. **African Journal of Biotechnology**, v. 7, n. 23, p. 4291-4297, 2008. DOI: 10.5897/AJB08.347.

ORETO, Cristina; BIANCARDO, Salvatore Antonio; ABBONDATI, Francesco; VEROPALUMBO, Rosa. Leveraging Infrastructure BIM for life-cycle-based sustainable road pavement management. **Materials**, v. 16, n. 3, art. 1047, 2023. DOI: 10.3390/ma16031047.

PRADYUMNA, T. Anil; MITTAL, Abhishek; JAIN, P. K. Characterization of reclaimed asphalt pavement (RAP) for use in bituminous road construction. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 104, p. 1149-1157, 2013. DOI: 10.1016/j.sbspro.2013.11.211.

PRADYUMNA, T. Anil; JAIN, P. K. Use of RAP stabilized by hot mix recycling agents in bituminous road construction. **Transportation Research Procedia**, v. 17, p. 460-467, 2016. DOI: 10.1016/j.trpro.2016.11.090.

ROCHA SEGUNDO, Iran Gomes da; CASTELO BRANCO, Verônica Teixeira Franco; VASCONCELOS, Kamilla. Avaliação de misturas asfálticas recicladas a quente com incorporação de elevado percentual de fresado. **Transportes**, v. 24, n. 3, p. 59-68, 2016. DOI: 10.14295/transportes.v24i3.1148.

SABERI, Saber Shah; MOHAMED, Azman. Characterization of soil for road shoulders mixed with reclaimed asphalt pavement waste. **Bilge International Journal of Science and Technology Research**, v. 7, n. 1, p. 22-32, 2023. DOI: 10.30516/bilgesci.1218789.

SALES, Lucila Costa. **Análise de propriedades geotécnicas de misturas de solo com concreto asfáltico fresado e cimento Portland para uso em camada de pavimento rodoviário**. 2022. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2022. Disponível em: https://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/16350. Acesso em: 11 jul. 2026.

SILVA, Eduardo Souza da. **Utilização de resíduo de fresagem de pavimentos asfálticos em bases estabilizadas granulometricamente e em revestimentos asfálticos na cidade de Manaus**. 2013. 219 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2013. Disponível em: https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/4622. Acesso em: 11 jul. 2026.

BELO HORIZONTE. Superintendência de Desenvolvimento da Capital (SUDECAP). **Caderno de encargos: pavimentação**. 4. ed. Belo Horizonte: SUDECAP, 2022. Disponível em: https://prefeitura.pbh.gov.br/sites/default/files/estrutura-de-governo/obras-e-infraestrutura/cap20-26-07-03.pdf. Acesso em: 11 jul. 2026.

YARO, Nura Shehu Aliyu; SUTANTO, Muslich Hartadi; BALOO, Lavania; HABIB, Noor Zainab; USMAN, Aliyu; YOUSAFZAI, Arsalaan Khan; AHMAD, Abdulaziz; BIRNIWA, Abdullahi Haruna; JAGABA, Ahmad Hussaini; NOOR, Azmatullah. A comprehensive overview of the utilization of recycled waste materials and technologies in asphalt pavements: towards environmental and sustainable low-carbon roads. **Processes**, v. 11, n. 7, art. 2095, 2023. DOI: 10.3390/pr11072095.