CENTRO UNIVERSITÁRIO PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS
UNIPAC BARBACENA
ENGENHARIA CIVIL

EDIR RICARDO CAMPOS
LUCAS EVANGELISTA DA SILVA

A REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA

BARBACENA
2020

EDIR RICARDO CAMPOS
LUCAS EVANGELISTA DA SILVA

A REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em Engenharia Civil do Centro universitário Presidente Antônio Carlos de Barbacena como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Dra. Suymara Toledo Miranda.

BARBACENA/ MG
2020

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Deus, por toda bondade, luz, força, sabedoria e inspiração ao conduzir nossa caminhada;

À orientadora, professora Doutora Suymara Toledo Miranda, pela seriedade, competência, disponibilidade, incentivo e motivação durante a elaboração deste trabalho;

Á todas pessoas que amamos, por estarem sempre ao nosso lado nos momentos de dificuldades, física e emocional;

À UNIPAC, por ter contribuído de forma significativa para a realização desta pesquisa;

Á banca examinadora e demais professores do curso de graduação em Engenharia Civil, que nos enriqueceram como profissionais;

Aos verdadeiros amigos que conquistamos durante nossas vidas e que estiveram sempre disponíveis e receptivos a nos ajudar.

Muito obrigado!

RESUMO

A atividade do setor da construção civil motiva índices elevados e significativos de resíduos de construção. Com o aumento da demanda de novos investimentos, muitos entulhos foram descartados em aterros ou lugares inadequados, impactando o meio ambiente e, conflitando os interesses econômicos com as questões ambientais. Como uma das medidas permitidas para minimizar estes danos, sugere-se a reutilização dos resíduos sólidos em pavimentação asfáltica. Este estudo percorre o caminho metodológico pertinente a uma revisão bibliográfica, admitindo como objetivo norteador apresentar os impactos que os resíduos do setor da construção civil ocasionam, e demonstrar a viabilidade técnica, econômica, ambiental e social da reutilização na pavimentação asfáltica. A relevância acadêmica evidencia na atualidade do tema e na necessidade de continuar investindo em estudos que delimitam a temática central. Postula-se que a reutilização em pavimentação asfáltica contribui para que ocorra um equilíbrio entre os setores da economia e do meio ambiente.

Palavras Chaves: Resíduos sólidos. Construção civil.Pavimentação asfáltica.

ABSTRACT

The activity of the civil construction sector motivates high and significant levels of construction waste. With the increase in demand for new investments, many rubbish was discarded in landfills or in inappropriate places, impacting the environment and conflicting economic interests with environmental issues. As one of the measures allowed to minimize these damages, it is suggested the reuse of solid waste in asphalt pavement. This study follows the methodological path pertinent to a bibliographic review, admitting as a general and guiding objective to present the impacts that waste from the construction sector causes and demonstrated the technical, economic, environmental and social feasibility of reusing asphalt paving. The academic relevance is evident in the topicality of the topic and in the need to continue investing in studies that delimit the central theme. It is postulated that the reuse in asphalt paving contributes to a balance between the sectors of the economy and the environment.

Key words: Solid waste. Construction. Asphalt paving.

LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Públicas e Resíduos Especiais
ABTN	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
RCC	Resíduos da Construção Civil
RCD	Resíduos de Construção e Demolição
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 8
2 DESENVOLVIMENTO 9
2.1 Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil 10
2.1.2 Classificação dos resíduos 12
2.1.3 Classificação segundo a NBR 10004 (2004) 13
2.2 Impactos dos Resíduos da Construção Civil 14
2.2.1 Sustentabilidade no setor da construção civil de rodovias 16
2.3 Pavimentação Asfáltica 16
2.3.1 Bases e Sub-bases de Pavimento 18
2.3.2 Pavimentação com Agregados Reciclados 18
2.4 A utilização de Resíduos Classe A na pavimentação 20
2.5 Casos de reutilização de resíduos da Construção Civil 22
REFERÊNCIAS 25

1 INTRODUÇÃO

A atividade desenvolvida pelo setor da construção civil representa uma das práticas profissionais basilares da economia brasileira, ocasionando uma elevação da qualidade de vida dos envolvidos, assim como a das famílias que são beneficiadas direta ou indiretamente (BRASILEIRO; MATOS, 2019).

Do ponto de vista social, o investimento na infraestrutura impulsiona geração de empregos, possibilita a movimentação financeira na comunidade em que o empreendimento está sendo desenvolvido.

Em contrapartida, em relação ao meio ambiente, constata-se a ocorrência de diversos impactos decorrentes da execução da obra, dentre eles a exploração dos recursos naturais, alteração da paisagem original e a geração de resíduos.

As forças antagônicas geradas pelos benefícios do setor econômico e os impactos ambientais requerem uma intervenção através de ações durante as fases da construção que admitem medidas sustentáveis que venham minimizar os efeitos ao meio ambiente, encorajando um equilíbrio entre os setores da economia e do meio ambiente

A construção civil é uma atividade que origina um alto índice percentual de resíduos sólidos, além de ser uma atividade que demanda grande consumo de matéria prima, provocando um desequilíbrio ambiental a longo prazo. Constatada a problemática ambiental resultante da prática desta atividade profissional, emerge a necessidade da aplicação efetiva dos princípios ambientais, minimizando os impactos provocados na natureza. Viabilizando a aplicabilidade destes resíduos na pavimentação asfáltica, averigua sobre a economia e redução da pressão sobre os recursos naturais.

A pavimentação asfáltica exige significativa demanda de materiais não renováveis, resultando em busca de materiais alternativos para que se promova uma construção de estradas e vias sustentáveis e de baixo custo.

Dado o exposto, tem-se por objetivo apresentar, a partir de uma revisão bibliográfica, os impactos que os resíduos do setor da construção ocasionam diante do cenário atual e, demonstrar os benefícios técnicos, ambientais e econômicos da admissão da reutilização destes resíduos na pavimentação asfáltica.

2 DESENVOLVIMENTO

A gestão de resíduos está inserida dentro do quadro de atividades de saneamento básico, ocorrendo uma correlação entre saúde e meio ambiente. Desta forma, causa efeitos na qualidade ambiental e na saúde pública apresentada em dados percentuais da vida social (CÂMARA, 2019).

Os resíduos da construção civil (RCC) possuem em sua composição 40% de materiais recicláveis e, não são em grande parte, reaproveitados nas atividades humanas, nas atividades de transformação e implementação (MACENA; GODOY, 2019).

Para iniciar uma reflexão sobre a utilização destes resíduos, faz-se necessário, compreender um conceito para estabelecer referências daquilo que será abordado. No entanto, não é possível apresentar um conceito consolidado e único sobre resíduos da construção civil, tornando desafiadora esta proposta, uma vez que possui vários sinônimos, isso conforme época e lugar, dependendo ainda das condições econômicas, ambientais, sociais e tecnológicos (BRASILEIRO; MATOS, 2015).

A partir da compreensão de que não se trata de um conceito que permanecerá inalterado, estabelece para resíduos aquilo que a resolução 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 2002) define como Resíduos da Construção Civil (RCC), sendo estabelecido que os que são provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, gerados por pessoas físicas ou jurídicas, públicas ou privadas, responsáveis por empreendimentos que gerem estes resíduos (LUNARDI; MALYSZ; SABEDOT, 2018).

Compreendendo que os RCC são considerados popularmente como “entulhos” provenientes da construção civil, assim, para que estabeleça um quantitativo de geração desses detritos, devem-se realizar estimativas sobre a área construída, de quantificação de volumes por empresas coletoras, monitoramento de descargas em áreas de silo de destino de RCC, possibilitando apresentar uma quantificação confiável que pode ser utilizada por cada município legalmente licenciado (MACENA, GODOY, 2019).

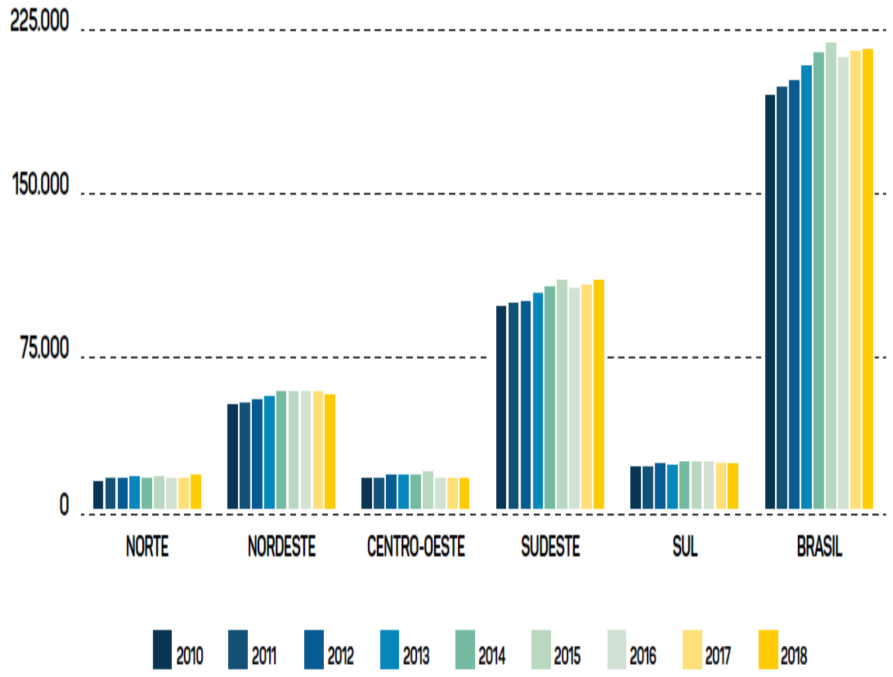
O uso racional de recursos naturais foi devidamente regulamentado para nortear uma utilização racional, bem como, estabelecer redução na demanda de materiais e reutilizar os resíduos gerados, assim, promovendo uma atividade que ocasiona uma diminuição nos impactos ambientais ocorridos pela atividade e sua crescente atuação em território nacional (LUNARDI; MALYZ; SABEDOT, 2018).

No Brasil, a busca por alternativas para reaproveitamento e reciclagem desses resíduos ainda é recente e aplicada de forma incorreta. Essas práticas não acompanham

a geração de resíduos, obrigando o país a buscar alternativas diferentes das que estão sendo empregadas atualmente (ZIMMER, 2019).

A FIG. 1 apresenta a geração de RSU nas regiões do Brasil, sendo estes dados apresentados pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Públicas e Resíduos Especiais (ABRELPE[1]) no ano de 2020.

Figura 1- Gráfico total (t/dia) nas regiões e Brasil, 2010 a 2018.



Fonte: ABRELPE, 2020.

2.1 Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil

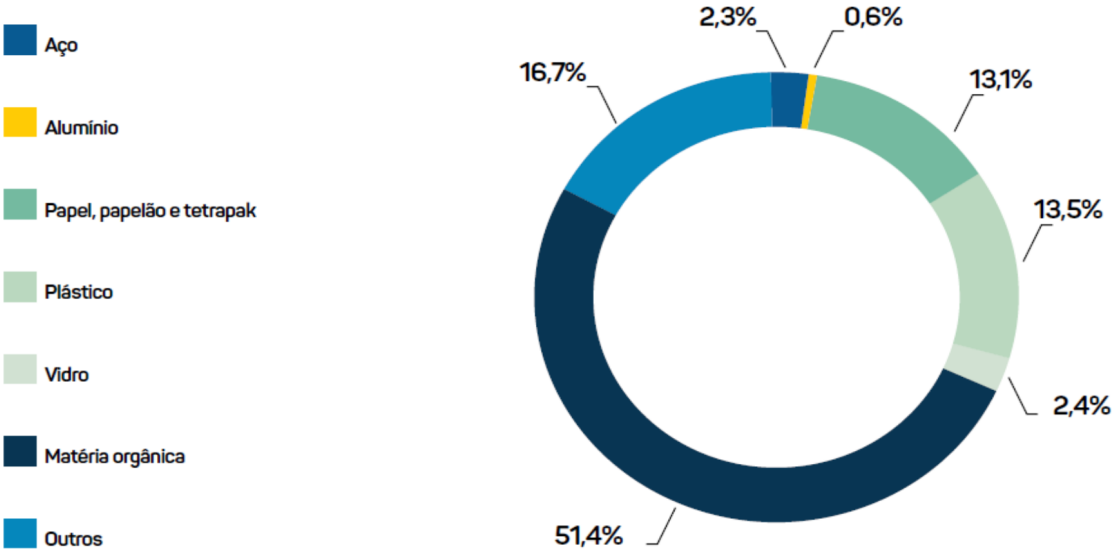
Para diminuir os altos índices na geração de RCC, a Resolução CONAMA n° 307 de 2002, estabelece que os geradores devem visar, em primeiro lugar, à não geração de RCC e, em caráter prioritário aplicar os princípios que norteiam a política do meio ambiente sustentável, na ordem de prioridade, a redução, a reutilização, a reciclagem,

[1] Fundada em 1976 por um grupo de empresários pioneiros nas atividades de coleta e transporte de resíduos sólidos, a ABRELPE tem pautado sua atuação nos princípios da preservação ambiental e do desenvolvimento sustentável, para representação e defesa do setor, com a missão de promover o desenvolvimento técnico-operacional da gestão de resíduos sólidos no Brasil.

acompanhados do tratamento dos resíduos e a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (CÂMARA, 2019).

Na FIG. 2, destaque-se a composição gravimétrica dos RSU coletados no Brasil.

Figura 2 - Composição gravimétrica dos RSU coletados no Brasil.



Fonte: ABRELPE, 2020.

É sabido que os resíduos da construção civil não poderão ser dispostos em aterros de resíduos sólidos urbanos, em áreas de vazadouros, em encostas, corpos d'água, lotes vagos ou em áreas protegidas por lei (CÂMARA, 2019).

A excessiva geração de RCC são oriundas de inúmeras atividades no decorrer da atividade profissional, podendo destacar a baixa qualificação da mão de obra; técnica construtiva de pouca tecnologia que não emprega princípios de racionalização; falhas nos métodos de transporte dos materiais nos canteiros de obras; excesso de produção de materiais e de embalagens (DANTAS, 2018).

Dentre as metodologias de gestão ambiental, o setor da construção civil aplica a Produção Mais Limpa, a P+L[2], tendo origem no setor industrial, objetiva maior lucratividade e menor impacto ao ambiente, sendo posteriormente, admitida na

[2] A definição de P+L foi cunhada, em 1988, pelo UNEP (United Nations Environmental Program). A P+L é um método de abordagem que integra uma estratégia econômica, tecnológica e ambiental, aos processos e produtos, com a finalidade de aumentar a eficiência no uso de matérias- primas e insumos básicos, através da redução dos desperdícios, não-geração, minimização ou reciclagem (UNEP, 2020).

construção civil de maneira eficiente para minimizar a geração de resíduos e sua reutilização na fonte geradora (ALMEIDA, 2018).

Conforme a Resolução CONAMA n° 307 de 2002, o gerenciamento de resíduos da construção civil deve abranger o conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos (BRASIL, 2002).

Para se propor um apropriado gerenciamento dos RCC é necessário a prévia caracterização dos resíduos a serem gerados.

2.1.2 Classificação dos resíduos

Com o aumento da população nos centros urbanos e o crescimento tecnológico industrial, ocorreu proporcionalmente um crescente na variedade e quantidade de poluentes ambientais. Em consequência, a qualidade de vida ficou comprometida, sendo necessário implementar novos modelos de desenvolvimento sustentável com alternativas para utilização dos recursos existentes, motivando a preservação dos recursos naturais (KLAMT *et al.*, 2018).

De acordo com a lei 12.305 de 2010, houve a implementação da Política Nacional dos Resíduos Sólidos que classifica os detritos de acordo com sua origem como: domiciliar; limpeza urbana; sólidos urbanos; estabelecimentos comerciais e prestadoras de serviços; público de saneamento básico, industrias de serviços, de saúde, da construção civil; agrossilvopastoris; transportes e de mineração (BRASIL, 2010).

Como ação governamental admitida**,** foi criada a Resolução 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) de 2002, cujo conteúdo define deveres e responsabilidades, o qual obriga os geradores a reduzir, reciclar**,** reutilizar, tratar e dispor os resíduos de construção e demolição (RCD) (KLAMT *et al.,* 2018).

A supracitada resolução estabelece diretrizes para que os municípios e o Distrito Federal desenvolvam programas de políticas públicas voltados a forma de Planos Integrados de Gerenciamento. Objetivando identificar e assumir soluções para grandes e pequenos geradores, disciplinando todos agentes envolvidos (ZIMMER, 2019).

Ao analisar o art 4º da resolução citada, destaque-se que o principal objetivo dos geradores RCC deve ser evitar gerar resíduos, sendo que**,** caso ocorra a geração desses resíduos, aplica-se a regra de redução, reutilização, reciclagem e a destinação final (DANTAS, 2018).

Analisando a resolução, torna-se imprescindível destacar o art 3º que apresenta a classificação dos RCCs, conforme disposto no quadro 1 abaixo (BRASIL, 2010):

Quadro 1 - Classificação dos resíduos segundo a resolução n°307 do CONAMA

Classe A	Componentes cerâmicos: (Tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento); argamassa e concreto.
Classe B	Resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plástico, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e embalagens vazias de tinta imobiliárias e gesso.
Classe C	São resíduos nos quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua recuperação ou reciclagem.
Classe D	São resíduos perigosos oriundos do processo de construção, como tintas, solventes, óleos, telhas e demais objetos que contenham amianto.

Fonte - Resolução 307 CONAMA (2002)

2.1.3 Classificação segundo a NBR 10004 (2004)

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABTN admite a Norma Brasileira NBR 10004 em 2004classificou os resíduos a partir do seu estado físico: sólido, liquido e gasoso (ABNT NBR 10004, 2004).

Ainda dentro das previsões da NBR 10004 (2004) separou os resíduos em duas classes, utilizando como critério para classificação o nível de impactos que causam ao meio ambiente e a saúde (ZIMMER,2019). Verifica-se a classificação na Quadro 2.

Quadro 2 - Classificação dos RCC segundo NBR 10004

Resíduos Classe I	Perigosos
Resíduos Classe II	Não perigosos
Resíduos Classe II A	Não inertes
Resíduos Classe II B	Inertes

Fonte: (NBR 10004, 2004).

Os resíduos compreendidos na Classe I são aqueles que apresentam propriedades químicas, físicas, gerando algum risco a saúde pública e/ou para o meio ambiente, quando descartados de maneira indevida (ZIMMER, 2019).

Os resíduos Classe II A – Não inertes – são resíduos que podem apresentar propriedades como biodegradabilidade ou solubilidade em água (ZIMMER, 2019).

Já os resíduos da Classe II B- Inertes- não apresentam reação química ou física que venham afetar a substância (ZIMMER, 2019).

A classificação de resíduos com potencial poluentes, estão presentes nas seguintes normas:

- NBR 10004 (2004) – Resíduos Sólidos - Estabelece quanto à análise da natureza física (seco ou molhado), aprecia a análise da composição química (matéria orgânica ou inorgânica) e à análise do risco potencial ao meio ambiente (perigoso, não inerente e inerte).
- NBR 10005 (2004) – Lixiviação de Resíduos – Apresenta descritivamente o procedimento para se obter o extrato lixiviado dos resíduos sólidos tendo em vista a sua classificação.
- NBR 10006 (2004) – Solubilização de Resíduos -Descreve o procedimento para se obter o extrato solubilizado de resíduos sólidos, além de prescrever sobre a solubilização de resíduos sólidos e fixar as condições exigíveis para diferenciar os resíduos não inertes, podendo ser aplicada somente aos resíduos sólidos.
- NBR 10007 (2004) – Amostragem de Resíduos - Estabelece condições mínimas e máximas exigíveis para cada amostragem, e também para a preservação e estocagem de amostra de resíduos sólidos.

2.2 Impactos dos Resíduos da Construção Civil

Devido ao crescimento da população**,** ocorre uma expansão territorial urbana, ocasionado na ampliação e intensificação do sistema de produção e consumo industrial que tem impactado o meio ambiente através da geração de resíduo sólidos e, consequentemente sendo dispostos de maneira inadequada (SANTOS; ARAÚJO; VENEU, 2020).

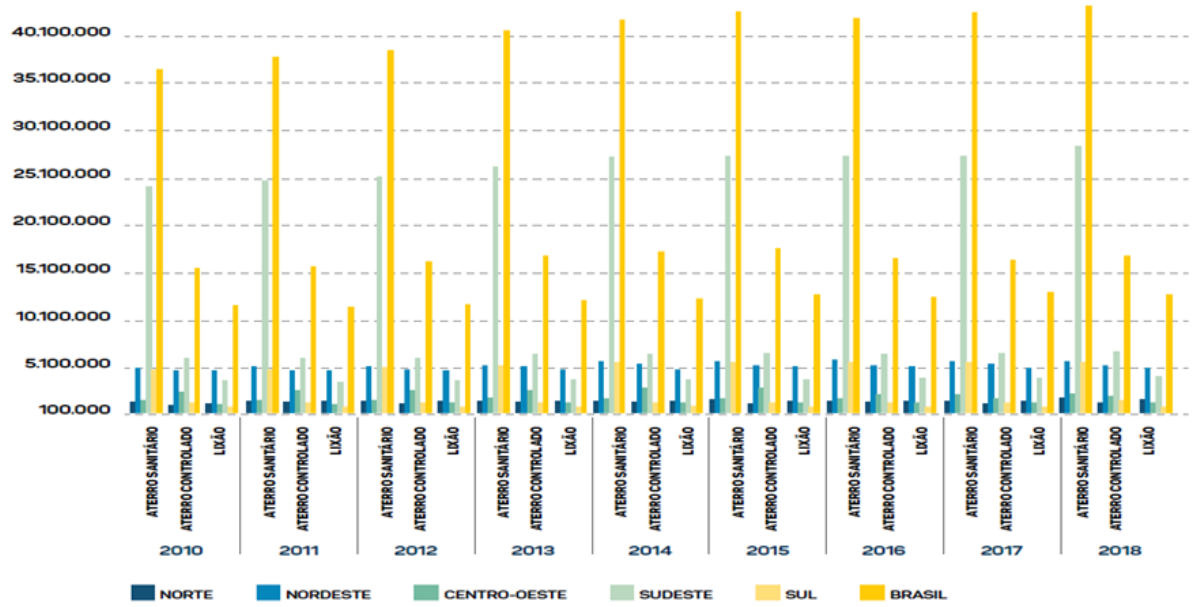
Os silos dos resíduos sólidos apresentam diversos malefícios, deixando a disposição a população que enfrentam dificuldades na promoção da saúde humana, ao enfrentar poluição ambiental e climática (SANTOS; ARAÚJO VENEU, 2020).

Quando depositados os RCD em locais inadequados, comprometem a paisagem, promovem mau cheiro e reduzem o bem-estar da população que vive entorno do local. Outro fator que se deve destacar é a desvalorização imobiliária e diversos impactos na contração de doenças oriundas de vetores transmissores de doenças ou a absorção de metais pesados em casos de descartes de lixo eletrônico (SANTOS; ARAÚJO; VENEU, 2020).

A poluição pelo ar é um fator que danifica o meio ambiente e promove a contaminação, trazendo riscos à população através de gases cancerígenos decorrentes das incinerações dos resíduos. Os gases não proporcionam prejuízos apenas para aqueles que têm contato direto com os resíduos, mas também para toda humanidade, danificando a atmosfera e, favorecendo o aquecimento global (SANTOS; ARAÚJO, VENEU, 2020).

Ressalta-se que os resíduos sólidos, quando dispostos em fundos de vales, margens de ruas ou cursos de d'agua ocorre a contaminação por corpos d'agua, enchentes, assoreamento e proliferação de vetores (FIG. 3) (CÂMARA, 2019).

Figura 3 - Disposição final de RSU por região do Brasil.



Fonte: ABRELPE, 2020.

Evidencia-se a necessidade de realizar melhorias no processo de coleta e destinação de resíduos sólidos e disposição adequada para preservação ambiental e da saúde da população (CÂMARA, 2019).

2.2.1 Sustentabilidade no setor da construção civil de rodovias

A incorporação de práticas sustentáveis no setor da construção civil minimiza as forças antagônicas geradas a partir da expansão da atividade laboral – que visam ao crescimento econômico e social – e à questão ambiental voltada para construção civil, promovendo a integração com o meio ambiente (NASATO, 2019).

Desta forma, há uma necessidade do uso de uma produção mais limpa que não esgota os recursos naturais, equilibrando o setor econômico e bem-estar social. O planejamento possibilita que se escolham desde os materiais corretos e ambientalmente sustentáveis à menor geração de resíduos sólidos (NASATO, 2019).

A busca pelo engajamento de uma construção sustentável é um crescente no mercado, envolvendo agendas governamentais, consumidores, investidores e associações.

Direcionando esta prática sustentável a construção de rodovias, faz-se necessário ressaltar que as práticas da construção de vias possuem características próprias, como distância de matéria prima e a pequena largura comparada a extensão longitudinal. Estas características fazem com que a prática sustentável admitida seja diferenciada das demais (LUKIANTCHUKI, 2019).

Diante desta breve abordagem, emerge a necessidade de indicativos sustentáveis, prática e métrica voltados a construção de rodovias (LUKIANTCHUKI, 2019), sendo que neste estudo, abordar-se-á a viabilidade de utilização de resíduos sólidos na pavimentação asfáltica.

2.3 Pavimentação Asfáltica

Entende-se por pavimento um sistema que constitui várias camadas de espessuras finitas dispostas sobre o subleito do corpo estradal:

> O pavimento é uma estrutura não perene, composta por camadas sobrepostas de diferentes materiais compactados a partir do subleito do corpo estradal, adequada para atender estrutural e operacionalmente ao tráfego, de maneira durável e ao mínimo custo possível, considerados diferentes horizontes para serviços de manutenção preventiva, corretiva e de reabilitação, obrigatórios (BALBO *apud* SANTOS; ARAÚJO; VENEU, p. 41, 2018).

É sabido que o pavimento é destinado a resistir esforços verticais, oriundos do tráfego, melhorar as condições de rolamento e resistir a esforços horizontais, tornando a

superfície horizontal mais durável. Podem ser classificados como flexíveis, rígidos e semirrígidos (SANTOS; ARAÚJO; VENEU, 2020).

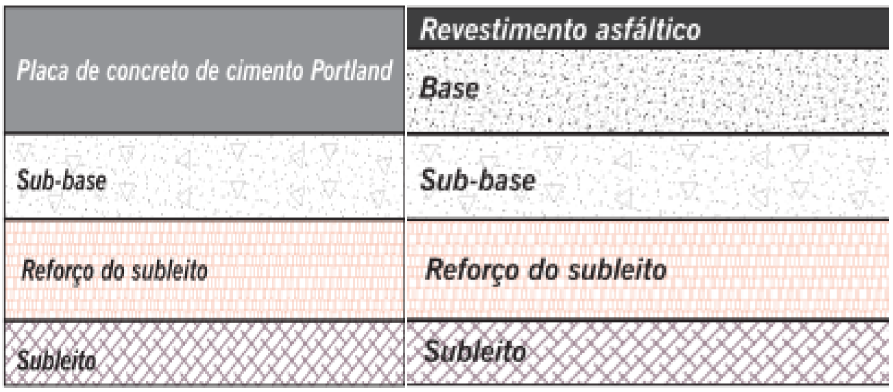
O pavimento flexível geralmente é constituído por três camadas estruturais, onde todas sofrem uma deformação elástica[3] significativa quando é aplicado um carregamento sob ela, um exemplo seria a base de brita graduada com revestimento asfáltico (FERREIRA, 2017).

O semirrígido é caracterizado quando a via possui uma base cimentada, onde foi utilizado algum aglutinante com propriedades cimentícias em sua camada, um grande exemplo seria o solo cimento revistado por uma camada asfáltica (MANUAL DNIT 2006).

O rígido se caracteriza pelo revestimento de alta rigidez, com isso toda as tensões geradas pelos carregamentos sob a via são absorvidas por essa camada. No país, um exemplo desse tipo de pavimento é quando a camada de revestimento é constituída por uma laje de concreto (MANUAL DNIT 2006).

Através da FIG. 04 pode ser observado as camadas constituintes da pavimentação rígida e flexível.

Figura 4 - Camadas constituintes da pavimentação rígida e flexível.



Fonte: Omido *et al* (2018).

O quadro 3 apresenta as informações sobre cada camada de função de pavimentação em uma.

Quadro 3 – Definição das camadas de Função de pavimentação.

Subleito	Conformar o leito estradal tanto na transversal como longitudinalmente.

[3] As deformações elásticas ou deflexões reversíveis são os deslocamentos verticais que surgem na superfície de um pavimento ou no interior da sua estrutura quando é submetido a esforços, até um determinado limite de tolerância, em forma intermitente ou transitória permitindo que quando esses esforços cessam.

Reforço do Subleito	Executada sobre o subleito quando é necessário a redução da espessura da camada da sub-base.
Sub-base	Resistir e transmitir as cargas verticais para o reforço do subleito ou subleito.
Base	Resistir aos esforços verticais exercidos pelos veículos, distribuindo adequadamente as camadas subjacentes.

Fonte: Omido *et al*, 2018.

2.3.1 Bases e Sub-bases de Pavimento

Conforme disposto anteriormente, as camadas que compõem o pavimento são projetadas para resistirem às inúmeras cargas a que estão submetidas sem que ocorram danos estruturais. Devido a sua função primária, devem-se conhecer os materiais que estão submetidos a estas solicitações de cargas e também a efeitos climáticos (LUNARDI, 2018).

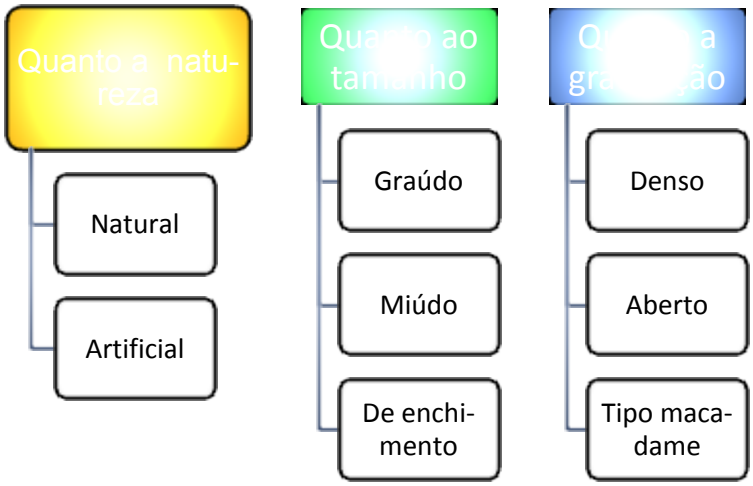
Os métodos de caracterização das propriedades físicas e mecânicas são utilizados na classificação da sub-base de pavimentos, devendo apresentar características próprias, como: resistentes, pouco deformáveis e com permeabilidade adequada à camada na qual será utilizado. (KLAMT *et al.,* 218).

2.3.2 Pavimentação com Agregados Reciclados

É sabido que as fases de execução da construção civil possuem a presença de concreto, sendo este um material homogêneo, constituído de cimento, água, areia e brita (pedra), aditivos químicos e minerais, resultando em uma massa aderente a outros tipos de materiais e de fácil manuseio (SANTOS, ARAÚJO, VENEU 2020).

O Manual de Pavimentação do DNIT (2006) os agregados são materiais pétreos utilizados na pavimentação asfáltica, podendo ser origem natural ou artificial, sendo encontrados em grande quantidade na natureza como os seixos rolados e pedregulhos, a medida que os agregados artificiais necessitam do tratamento de britagem para que possam adequar-se a determinadas granulometrias para sua utilização, conforme apresentado na FIG.5.

Figura 5- Classificação dos agregados na pavimentação asfáltica



Fonte: DNIT (2006)

As classificações acima são definidas pelo Manual de Pavimentação do DNIT (2006):

I. Os agregados naturais têm sua origem na alteração natural das rochas dado pelo intemperismo ou ainda pelos processos de britagem;
II. Os agregados artificiais são aqueles que são gerados através dos produtos e subprodutos industriais quando sofrem algum tipo de interferência física ou química;
III. Os agregados graúdos são os materiais pétreos retidos na peneira de n° 10, como as britas, cascalhos e seixos;
IV. Os agregados miúdos são todos os materiais pétreos que passam na peneira de n° 10 e ficam retido na peneira de n° 200, como o pó de pedra e a areia.
V. Os agregados de enchimento ou filer são os materiais que têm pelo menos 65% de porcentagem passante na peneira n° 200, como o cimento Portland;

Com relação a distribuição dos grãos o Manual de Pavimentação do DNIT (2006) define da seguinte forma:

I. Os agregados de graduação densa apresentam curva granulométrica continua e bem graduada, contemplando uma boa porcentagem de tamanho de grãos,

apresentando material fino suficiente para preencher os espaços vazios entre os agregados de maiores dimensões;

II. Os agregados de graduação aberta apresentam uma curva granulométrica bem graduada e contínua, porém com insuficiência de finos para preencher os vazios deixados pelas partículas de maiores dimensões;

III. Os agregados de tipo macadame são agregados que possuem partículas de tamanho único, sendo assim o agregado tem granulometria uniforme, a qual apresenta diâmetro máximo o dobro do diâmetro mínimo;

Dos resíduos gerados na construção civil, 50% são entulhos, classificados como resíduo tipo A, sendo possível gerar agregados, em outros dizeres, esses resíduos não reagem quando misturados ao cimento e água, uma vez que são materiais inertes e extremamente importantes, pois representam 70% dos materiais utilizados, refletindo no custo (SANTOS, ARAÚJO, VENEU, 2020).

A utilização dos agregados em pavimentação asfáltica possui viés técnico, econômico e sustentável, além de apresentar bom desempenho nas propriedades físicas e mecânicas (SANTOS, ARAÚJO, VENEU, 2020).

A quantidade de materiais empregados na pavimentação é significativa, podendo ser demonstrada de forma ilustrativa sob os valores hipotéticos que uma via de sete metros e meio de largura, demanda um consumo excedente a 2250m³/km de material virgem para execução de 30 cm de base brita de base compactada (ALMEIDA, 2018).

Imprescindível destacar que para utilizar o RCD na pavimentação asfáltica, o material extraído deve apresentar boa trabalhabilidade e condições que permitam ensaios laboratoriais, devendo estar com seus índices de composição na faixa granulométricas de acordo com a NBR 11804/91(ALMEIDA, 2018).

Estabelecidas as premissas que norteiam a utilização dos resíduos agregados, é possível afirmar que a admissibilidade de agregados na reutilização do entulho, promove benefícios para sociedade e para os construtores, promovendo a reinserção e destinação correta dos resíduos que, anteriormente, seriam descartados de maneira inadequada (OMIDO *et al,* 2018).

2.4 A utilização de Resíduos Classe A na pavimentação

Os resíduos “classe A” não apresentam alteração nas características da água, uma vez que não apresentam composto solubilizado com concentração acima dos valores regulamentados pela portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde, considerando o resíduo mais apropriado para reutilização na pavimentação. Além dos benefícios e qualidade do resíduo “classe C” e “classe D”, podem conter contaminantes que apresentam inertes (ALMEIDA *et al*., 2018).

Esses resíduos originam de processos de construtivos, devendo ser selecionados a partir de uma boa qualidade, caso contrário, quando se utiliza uma má qualidade dos bens de serviços, podem ser descartados como entulhos, além de influenciarem na vida útil do empreendimento, requerendo correções em curto prazo e gerando mais entulhos para serem descartados (OLIVEIRA, 2018).

No Brasil, a produção de resíduos classe A é significativa e sua reutilização é o método mais consciente para proteção ambiental, sendo que suas primeiras usinas de reciclagem foram instauradas nas prefeituras de São Paulo (1991), Londrina (1993), e Belo Horizonte (1994) (OLIVEIRA, 2018).

Em relação as vantagens de direcionar o resíduo classe A, amplamente destacado neste estudo, há também o reconhecimento sobre os benefícios sustentáveis, econômicos, a promoção de valores frente a imagem corporativa e a geração de empregos. Todavia, destaque-se que essa prática, ainda que a mais indicada com imensas vantagens, apresenta desvantagens como a falta de incentivo para pesquisas em âmbito nacional**;** a inexperiência de alguns profissionais e a falta de informação que resulta em dificuldades na reutilização na produção de novos materiais**;** o descarte e armazenamento irregulares (ALMEIDA *et al*., 2018).

O quadro 4 apresenta alguns exemplos práticos que tornam perigosa a reutilização dos resíduos.

Quadro 4 – Perigos associados ao RCD

Fluxo de Resíduos	Exemplos
Alguns fluxos de RCD são perigosos, pois o material originalmente utilizado contém uma elevada proporção de materiais que são nocivos	Amianto, chumbo, alcatrões, tinta e resíduos conservantes, adesivos, agentes ligantes e zelantes e certos plásticos.
Alguns materiais tornam-se perigosos como resultado direto do ambiente em que existem há vários anos.	Fábrica onde reações à superfície entre os materiais de construção originalmente não perigosos e químicos existentes no ar ou

	água poluídos associados com processos perto ou dentro da fábrica, resulta na alteração desses materiais para perigosos, e requerendo especial manuseamento e tratamento.
Alguns fluxos de RCD tornam-se perigosos se materiais nocivos são colocados nestes e/ou subsequentemente misturados com estes.	Exemplo clássico das tintas com base de chumbo numa pilha de tijolos e betão, tornando tudo o material perigoso.

Fonte: Tabela 1: Symonds group Ltd, 1990 *apud* Oliveira (2018).

É sabido que na pavimentação asfáltica mais de 90% da mistura são construídos de agregados de vários granulometrias, sendo que a prática de reutilizar os agregados tem sido uma realidade crescente e diversos pesquisadores a utilizam para impulsionar o retorno para o setor da construção civil (OLIVEIRA, 2018).

Enfatiza-se que no Brasil não é muito comum a utilização dos resíduos classe A na homogeneização do solo, mas que seu direcionamento à terraplanagem, visando à melhoria dos subleitos e camadas estruturais de base de uma rodovia apresenta-se como promissora, com resultados satisfatórios e dentro da normatização NBR15115 (ALMEIDA *et al, 2018)*.

2.5 Casos de reutilização de resíduos da Construção Civil

Conforme os registros de dados históricos, no Brasil, a primeira cidade a utilizar agregados foi a cidade de São Paulo no ano de 1984, através de uma parceria com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), projetando a rua Gervásio Costa (LUKIANCHUKI, 2019).

Posteriormente, a cidade de São Carlos/SP instaurou uma usina de triagem e reciclagem, objetivando acabar com depósitos irregulares. Atualmente, os materiais produzidos são reutilizados na sub-base e pisos intertravados em obras de pavimentação (LUKIANCHUKI, 2019).

A cidade de Belo Horizonte, no estado de Minas Gerais, direciona a reutilização dos agregados no reforço de subleitos, sub-base de pavimentos, podendo destacar como exemplo a pavimentação nas avenidas Raja Gabaglia e Mario Werneck (LUKIANCHUKI, 2019).

Em Manaus**,** substituíram o eixo rolado, no qual utilizava-se agregado graúdo, pelo reciclado, estabelecendo uma relação de 50% a 60%, adicionando areia e cimento Portland nos conjuntos e, concluíram que esta mistura depende de maior ligante asfáltico, porém, sua reutilização ainda se apresenta viável (ZIMER, 2019).

Almeida *et al.,* (2018) direciona seus estudos a aplicabilidade da pavimentação asfáltica com a utilização de resíduos oriundos de obras e sua viabilidade econômica para o município de Passo Fundo, no qual foi utilizado nas base, sub-base e subleito, a partir de valores de ensaios de CBR, apresentou como resultados, valores de 82% e expansão 0,00%, chegando a uma estimativa de 4.000,000T de agregados. Apesar da usina do município possuir condições para utilizar 100% dos resíduos tipo classe A, sem comprometer a eficiência, apresentando condições tecnológicas para reutilização as camadas de pavimentos em vias urbanas, postularam por inviável a produção deste material.

3 CONCLUSÃO

A prática de uma atividade sustentável é reconhecida como crescente no setor da construção civil, sendo que as práticas sustentáveis promovem uma integração com o meio ambiente.

As técnicas de reciclar pavimentos são inovadoras e demandam alta tecnologia para sua implementação, todavia, conforme apresentado, a reutilização dos resíduos da construção civil na pavimentação possibilita adequar as obras das rodovias e a atividade da construção civil ao conceito de sustentabilidade.

Grandes desafios estão presentes na prática laboral, sendo que a mão de obra especializada, que esteja disposta a implementar práticas sustentáveis à atividade, podem realizar mudanças no cenário mundial, cujos objetivos será uma produtividade mais limpa, em outros dizeres, o profissional da construção civil, estabelecerá objetivos que estejam alinhados a uma maior lucratividade que causará menor impacto ambiental.

Desta forma, adaptar as necessidades de uso, produção e consumo que não esgotam os recursos naturais e promovem obras econômicas, bem-estar social e impulsiona a economia nacional vem sendo amplamente discutido, ganhado visibilidade e relevância acadêmica.

Ambientalmente, o reaproveitamento de materiais em pavimentação asfáltica é de extrema importância, pois proporciona que toneladas de agregados, com potencial de utilização, sejam aplicados de maneira correta e colabora para que se equilibre a atividade do setor com os impactos ambientais.

Por fim, ressalta-se que a reutilização dos resíduos da construção civil em pavimentos, não depende apenas da boa vontade dos profissionais que estão atuando diretamente na atividade, mas também requer que sejam promovidos investimentos para que se desenvolva a atividade proposta.

REFERÊNCIAS

ABRELP. **Associação brasileira de empresas de limpeza pública e resíduos especiais.** Disponível em: https://abrelpe.org.br/. Acesso em: 25 set. 2020.

ALMEIDA, Jupira *et al*. **Estudo de viabilidade econômica do uso do agregado de RCD em pavimentação de vias urbanas**. Revista De Engenharia, N. 54, P. 16-25, 2018. Disponível em: http://www.civil.uminho.pt/revista/artigos/n54/Pag.16-25.pdf. Acesso em: 10 de out.2020.

BRASIL; 02 De Agosto De 2010; **Os Resíduos Sólidos**. Disponível: Http://Www.Planalto.Gov.Br/Ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.Htm. Acesso Em 11 De Outubro De 2020.

_____. Ministério Do Meio Ambiente, Conselho Nacional Do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução Nº 307**, De 05 De Julho De 2002. Brasília DF, N. 136, 17 De Julho De 2002. Seção 1.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. Revisão Bibliográfica: **Reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil**. Cerâmica, V. 61, N. 358, P. 178-189, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1590/0366-69132015613581860. Acesso em 11 out.2020.

CÂMARA, Igor Juan Da Silva. **Resíduos da construção civil: caracterização e aplicações dos resíduos da pavimentação asfáltica**. 2019. Trabalho De Conclusão De Curso. Universidade Federal Do Rio Grande Do Norte. Disponível em: https://monografias.ufrn.br/jspui/handle/123456789/8855. Acesso em: 11 out.2020.

DANTAS, Bárbara De Oliveira Lage. **Reutilização de resíduos sólidos da construção civil e de pneus inservíveis na pavimentação**. 2018. Disponível em: https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/13677. Acesso em: 10 out.2020.

DE ALMEIDA LEITE, Izabella Caroline Et Al. **Gestão de resíduos na construção civil: um estudo em Belo Horizonte e região metropolitana.** REEC-Revista Eletrônica De Engenharia Civil, V. 14, N. 1, 2018. Disponível em: https://www.revistas.ufg.br/reec/article/download/44439/pdf/. Acesso em: 10 out.2020.

DE OLIVEIRA, Davi Pinto; DA SILVA, Silvia Sonia. **Resíduos da construção civil: um estudo de caso sobre os resíduos dos bairros Jardim Curitibano III e Jardim Ipê I, Foz do Iguaçu-PR**. Revista Pleiade, v. 12, n. 26, p. 92-98, 2018.

DOS SANTOS, Felipe Sombra; DE ARAÚJO AZEREDO, Pedro Henrique; VENEU, Diego Macedo. **Avaliação de concreto sustentável contendo teores de resíduos de agregados reciclados**. Brazilian Journal Of Development, V. 6, N. 7, P. 45457-45471, 2020. Disponível em: https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/12996. Acesso em 12 out.2020.

DNIT. **Manual de Pavimentação**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2006.

FERREIRA, J.M. **Análise da utilização de resíduos da construção civil em pavimentação.** 2017. Disponível em: https://repositorio.pgsskroton.com.br/bitstream/123456789/29096/1/Janaina_Mendes_Ferreira_TCC2_ATIVIDADE3.pdf.Acesso em: 21 out.2020

KLAMT, Rodrigo André *et al*. **Estudo da utilização da reciclagem de concreto asfáltico como camada de pavimento. revista de gestão ambiental e sustentabilidade**, V. 7, N. 3, P. 539-553, 2018. Disponível em: http://www.revistageas.org.br/ojs/index.php/geas/article/view/782. Acesso em: 21 out.2020.

LUKIANTCHUKI, Juliana Azoia. *et al*. **Resíduos de construção civil: geração, gestão e uso para fins de pavimentação**. 2019. Disponível em: http://rdu.unicesumar.edu.br/handle/123456789/3574. Acesso em: 21 out.2020.

LUNARDI, Cecilia Vione; MALYSZ, Rodrigo; SABEDOT, Sydney. **Viabilidade para o uso de resíduo de construção civil em bases e sub-bases de pavimentos rodoviários.**

SEFIC 2018, 2018. Disponível em: https://anais.unilasalle.edu.br/index.php/sefic2018/article/viewFile/912/855. Acesso em: 21 out.2020.

MACENA, Clayton Luis; DE GODOY LEME, Mariane Alves. **Reciclagem de resíduos sólidos na construção civil**. FOCO: Caderno De Estudos E Pesquisas, N. 13, p. 38-53, 2019. Disponível em: http://revistafoco.inf.br/index.php/FocoFimi/article/view/498. Acesso em: 21 out.2020.

NASATO, Nadia Carolina. **Análise de viabilidade da utilização de resíduos sólidos da construção civil como agregado na pavimentação rígida**. 2019. Disponível em: http://rdu.unicesumar.edu.br/handle/123456789/5263. Acesso em: 21 out.2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: **Resíduos Sólidos – Classificação.** Rio De Janeiro, 1987.

_____. NBR 10004: **Resíduos Sólidos: Classificação**. Rio De Janeiro, 2004a.

_____. NBR 10005: **Lixiviação De Resíduos**. Rio De Janeiro, 2004.

_____. NBR 10006: **Solubilização De Resíduos: Classificação**. Rio De Janeiro, 2004.

_____. NBR 10007: **Amostragem De Resíduo**. Rio De Janeiro, 2004.

OMIDO, Agleison Ramos *et al*. **Estudos para aproveitamento de resíduos de construção civil na execução de camadas de pavimentação**. In: Congresso Sul Americano De Resíduos Sólidos E Sustentabilidade, Gramado. 2018. Disponível em: http://www.ibeas.org.br/conresol/conresol2018/VII-025.pdf. Acesso em: 21 out. 2020.

UNEP – **United Nations Environmental Program**. Disponível em: <http://www.unep.org>. Acessoem: 03 dez.2020.

ZIMMER, Arthur Silva *et al*. **Avaliação do potencial do uso de resíduos da construção civil como agregado para base e sub-base de pavimento asfáltico**. 2019. Disponível em: http://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/handle/prefix/2322. Acesso em: 21 out.2020.

Assinatura dos Alunos:

Edir Ricardo Campos

Edir Ricardo Campos

Lucas Evangelista da Silva

Lucas Evangelista da Silva