

Análise Econômica e Ambiental da Utilização de Resíduos da Construção e Demolição em Pavimentos Urbanos: Um Estudo de Caso em Maceió, Alagoas

Nehemias Anastácio Santos da Silva
nehemias.silva@penedo.ufal.br
UFAL

Grazielle Anastácia Santos da Silva
grazielle.anastacia@unesp.br
UNESP

Chayanne Lima Bernardo da Silva
chayanne.silva@ctec.ufal.br
UFAL

Maria Victoria da Rocha Cavalcante
maria.cavalcante@ctec.ufal.br
UFAL

Paulfride Brildjine Mantsouaka Tsele
Paulfride.tsele@ctec.ufal.br
UFAL

Resumo: A gestão de resíduos da construção e demolição (RCD) tem ganhado crescente atenção devido aos seus impactos ambientais e econômicos. Em cidades como Maceió, Alagoas, a complexa interação entre desenvolvimento urbano e problemas geotécnicos, como os afundamentos de solo induzidos pela atividade industrial, exacerba a necessidade de soluções inovadoras e sustentáveis na infraestrutura urbana. Este estudo investiga a viabilidade do uso de RCD em pavimentos urbanos, destacando não apenas os benefícios econômicos e ambientais, mas também a promoção de práticas de economia circular. A pesquisa visa preencher lacunas existentes na literatura sobre a aplicação de RCD em áreas afetadas por desastres naturais, com foco na redução de custos e impactos ambientais. O objetivo principal deste estudo é realizar uma análise econômica detalhada e uma avaliação técnica da utilização de RCD em camadas de pavimentação para vias urbanas de tráfego leve em Maceió. Utilizando uma metodologia integrada que inclui a caracterização dos resíduos, ensaios laboratoriais, e simulações de diferentes cenários de aplicação, a pesquisa compara os custos e benefícios dos materiais convencionais e reciclados. Os resultados preliminares indicam que a substituição de agregados naturais por RCD nas camadas de sub-base pode levar a uma redução significativa nos custos totais de pavimentação, além de diminuir a pressão sobre aterros sanitários e reduzir a exploração

de recursos naturais. Esses achados destacam a viabilidade econômica e ambiental do uso de RCD, oferecendo uma alternativa sustentável e inovadora para a gestão de resíduos e a infraestrutura urbana em contextos similares.

Palavras Chave: Resíduo - Economia Circular - Sustentabilidade - Economia Gerada -

1. INTRODUÇÃO

A infraestrutura urbana é vital para a qualidade de vida e o desenvolvimento das cidades, impactando diretamente seus habitantes e o crescimento econômico regional. Em Maceió, Alagoas, os desafios são ainda mais complexos devido à interação entre o desenvolvimento urbano e problemas geotécnicos, como os afundamentos de solo causados pela atividade industrial. Esses eventos aumentam a vulnerabilidade ambiental e social da cidade e exigem soluções inovadoras e sustentáveis na gestão de resíduos e infraestrutura.

Utilizar resíduos da construção e demolição (RCD) como matéria-prima para camadas de pavimentação surge como uma alternativa promissora e econômica. Integrar RCD na pavimentação urbana não apenas resolve questões locais de gestão de resíduos e estabilidade geotécnica, mas também representa um passo crucial para um desenvolvimento urbano mais sustentável e resiliente, conforme destacado por Aslam (2019). Além de mitigar os impactos ambientais da extração de materiais virgens, o uso de RCD promove a economia circular ao reintegrar resíduos na cadeia produtiva, alinhando-se com princípios globais de sustentabilidade e economia verde (COELHO, 2013).

A economia circular, segundo Akhtar (2018), é um modelo que busca transformar a maneira como crescemos economicamente, focando em benefícios para toda a sociedade. Diferente da economia linear tradicional, onde extraímos, fabricamos e descartamos, a economia circular propõe um sistema mais sustentável e regenerativo. Nesse modelo, produtos, materiais e recursos são usados pelo máximo de tempo possível, aproveitando ao máximo seu valor. Quando atingem o fim de sua vida útil, são reciclados, reparados ou reprocessados para dar origem a novos produtos, evitando desperdícios e promovendo a sustentabilidade.

A escolha de Maceió como foco desta pesquisa se deve à singularidade de seus desafios geológicos e à grande quantidade de RCD gerada. A cidade, situada em uma área de instabilidade geológica, tem visto um aumento nas demolições de edifícios afetados pelo afundamento do solo, criando uma oportunidade para a reciclagem e reutilização desses materiais (Brasil e Rosa, 2018). Implementar pavimentos urbanos com RCD pode resolver problemas ambientais ligados ao descarte inadequado e oferecer uma solução economicamente viável e sustentável para a infraestrutura urbana.

O principal objetivo deste estudo é analisar os custos associados à implementação de camadas de pavimentação utilizando RCD em diferentes tipos de vias em Maceió. Além dos custos diretos, serão avaliados os benefícios ambientais e sociais. Pretende-se comparar esses custos com os de materiais convencionais, analisar os benefícios econômicos diretos e indiretos e examinar os impactos ambientais positivos decorrentes da adoção dessas práticas. Incorporar RCD não só oferece uma solução para a destinação adequada desses materiais, reduzindo a pressão sobre os aterros sanitários, mas também pode mitigar os impactos ambientais da extração de agregados naturais e contribuir para a sustentabilidade a longo prazo da infraestrutura urbana.

Embora a utilização de RCD em pavimentação seja uma prática emergente, há uma lacuna significativa na literatura quanto à avaliação econômica detalhada dessas técnicas em diferentes cenários urbanos. Poucos estudos fornecem uma análise abrangente dos custos envolvidos na implementação de pavimentos utilizando RCD em vias de diferentes extensões, especialmente em contextos afetados por problemas geotécnicos como os afundamentos de

solo em Maceió. Esta pesquisa pretende preencher essa lacuna ao fornecer uma avaliação crítica e empiricamente fundamentada dos custos e benefícios associados à adoção de materiais reciclados na pavimentação urbana, contribuindo para o avanço do conhecimento e práticas sustentáveis na engenharia civil e gestão ambiental.

2. USO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD) EM PAVIMENTO

A gestão de resíduos da construção e demolição (RCD) tem sido amplamente discutida na literatura devido aos seus impactos ambientais e econômicos. Estudos recentes, como os de Silva et al. (2020) e Verian (2018), exploraram diversas estratégias de gestão de RCD, destacando a importância da reciclagem e reutilização de materiais. Silva et al. (2020) identificaram que a reciclagem pode reduzir significativamente o volume de resíduos enviados para aterros, enquanto Hossain et al. (2016) enfatizaram os benefícios econômicos da reutilização de RCD em novas construções.

No entanto, apesar desses avanços, ainda há uma lacuna significativa na literatura no que diz respeito à avaliação econômica específica do reaproveitamento de RCD em áreas afetadas por afundamentos de solo, como ocorre em Maceió devido às operações da Braskem. Estudos anteriores focaram principalmente em contextos urbanos gerais, sem considerar as particularidades de regiões com danos estruturais severos.

Além disso, enquanto alguns estudos, como o de Kadir et al. (2023), discutem os benefícios ambientais do reaproveitamento de RCD, poucos avaliam os aspectos econômicos detalhadamente. Esta pesquisa visa preencher essas lacunas, fornecendo uma análise econômica abrangente e explorando o potencial de reutilização dos RCD em pavimentação e construção de habitações populares, contribuindo para uma gestão de resíduos mais eficiente e sustentável (Akhtar & Sarmah, 2018).

A cidade de Maceió enfrenta desafios complexos decorrentes dos afundamentos de solo ocasionados pela atividade industrial da Braskem, que comprometem não apenas a estabilidade geotécnica, mas também colocam em evidência a necessidade urgente de soluções inovadoras e sustentáveis na gestão de resíduos. Em resposta a esses desafios, a reutilização de resíduos da construção e demolição (RCD) como matéria-prima para camadas de pavimentação surge como uma alternativa promissora e econômica.

Diversos estudos, como os de Silva et al. (2022), demonstram que o uso de RCD na pavimentação urbana pode ser uma solução eficaz e econômica, especialmente em cenários de recuperação pós-desastre. Estudos realizados por Leite et al. (2011) indicam que o custo-benefício do uso de RCD em camadas de pavimentos pode ser altamente favorável, considerando a redução dos custos de descarte e a disponibilidade local dos materiais.

A reciclagem de RCD pode resultar em reduções significativas nos custos de construção e manutenção, além de melhorar a sustentabilidade ambiental dos projetos de pavimentação (Mendes, 2019; Silva et al., 2016). No entanto, a eficácia dessa prática em termos econômicos deve ser cuidadosamente avaliada para garantir sua viabilidade e eficiência. Assim, esta pesquisa visa preencher essa lacuna, oferecendo uma análise detalhada dos custos envolvidos e fornecendo subsídios para a tomada de decisão por parte das autoridades locais e do setor da construção civil.

3. METODOLOGIA

Avaliar as camadas de pavimento urbano utilizando resíduos da construção e demolição (RCD) provenientes do afundamento do solo em Maceió demanda uma abordagem minuciosa para determinar a viabilidade econômica, ambiental e técnica desses materiais reciclados. Este estudo propõe uma metodologia integrada que abrange desde a caracterização dos resíduos até uma análise econômica detalhada, visando promover práticas mais sustentáveis na gestão de resíduos e infraestrutura urbana.

O primeiro passo crucial foi a caracterização dos resíduos de construção e demolição provenientes do afundamento do solo em Maceió. Esse processo envolveu a identificação e classificação dos materiais recicláveis, como concretos, argamassas, tijolos e cerâmicas, além de materiais não recicláveis que podem influenciar na composição das camadas de pavimento. Professores e técnicos da Universidade Federal de Alagoas conduziram esse trabalho. Também foram realizados ensaios laboratoriais para avaliar as propriedades dos materiais reciclados e das misturas asfálticas ou de base estabilizada. Os testes incluíram ensaios de compactação, resistência à compressão, resistência ao desgaste, módulo de elasticidade, entre outros, seguindo as normas técnicas vigentes.

Com base na caracterização dos resíduos, foram selecionados os materiais que oferecessem o melhor custo-benefício para a formulação das misturas de pavimento. Isso incluiu a determinação das proporções ideais de RCD em relação aos materiais convencionais, considerando as propriedades geotécnicas e mecânicas necessárias para garantir a durabilidade e resistência do pavimento. Ficou evidenciada a viabilidade técnica do uso de RCD em pavimentos, especialmente na camada de sub-base, enquanto sua aplicação na base mostrou-se inviável.

A vida útil dos pavimentos foi estimada em 10 anos com base nas propriedades dos materiais e na frequência de manutenção necessária. A avaliação incluiu a análise dos benefícios ambientais, como a redução de resíduos de construção e menor exploração de recursos naturais, proporcionando uma perspectiva mais holística dos custos e benefícios.

Foram desenvolvidas tabelas detalhadas comparando os custos totais de implementação e manutenção dos pavimentos com agregados naturais e reciclados. A interpretação dos dados identifica as soluções mais econômicas e sustentáveis, destacando as vantagens e desvantagens de cada opção. Baseado na análise, recomendações serão elaboradas para orientar políticas públicas e práticas de engenharia civil, promovendo o uso sustentável de recursos.

Ao comparar economicamente o uso de agregados naturais e reciclados em pavimentação urbana, esta metodologia não só contribuirá para a eficiência econômica dos projetos de infraestrutura em Maceió, mas também fomentará práticas sustentáveis e inovadoras na construção civil. A análise fornecerá dados essenciais para a implementação de soluções de pavimentação que sejam tanto economicamente viáveis quanto ambientalmente responsáveis, trazendo benefícios duradouros para a comunidade.

4. ANÁLISE DOS CUSTOS

4.1 CUSTO DE COMPRA DE RCD

Em geral, os agregados reciclados apresentam um custo inferior em comparação com os agregados convencionais, oferecendo uma alternativa econômica e sustentável. Os dados utilizados neste trabalho foram retirados do Sistema Nacional de Pesquisa e de Custos e

Índices da Construção Civil (SINAPI).

Tabela 1: Comparativo dos preços dos insumos

Tipo de Material	Valor por m ³ (R\$)
Bica Corrida (Material convencional)	76,25
Brita Graduada (Material convencional)	83,19
Pedra Rachão (Material convencional)	77,60
RCD (Concreto triturado)	45,75
Rachão (Reciclado)	54,00

Fonte: Autores, 2024.

Ao longo do ciclo de vida da via, os pavimentos com RCD tendem a proporcionar economias significativas comparadas aos pavimentos tradicionais sem materiais reciclados devido à redução na utilização de recursos naturais e aos menores custos de manutenção. Essas vantagens econômicas e ambientais fazem dos pavimentos com RCD uma opção cada vez mais atraente e sustentável, especialmente em projetos de longo prazo.

4.2 CONSUMO ESTIMADO PARA O RCD

Nesta seção, será analisada a viabilidade econômica da pavimentação com Resíduos de Construção e Demolição (RCD). O consumo de RCD na pavimentação tem se destacado como uma prática sustentável e econômica. Estimativas precisas de consumo de RCD são essenciais para o planejamento eficiente de projetos de pavimentação, determinando a

quantidade de material necessário, prevendo custos e avaliando benefícios ambientais, como a redução do uso de recursos naturais e a geração de resíduos. Fatores como o tipo de via, comprimento, largura e espessura influenciam diretamente a quantidade de RCD necessária.

Com base nisso, foram estimados os consumos de RCD (m^3/Km) para vias curtas, vias médias, vias longas e vias muito longas, conforme mostrado na tabela 2 abaixo.

Tabela 2: Consumo estimado de RCD (m^3/Km).

Tipo de Via	Comprimento (m)	Largura Total (m)	Pista de Rolamento (m)	Espessura Total	Consumo estimado de RCD (m^3/Km)
Vias curtas	Até 200	12	8	0,28 – 0,35	3,36
Vias Médias	Acima de 200 até 600	14	9	0,35 – 0,47	4,9
Vias Longas	Acima de 600 até 800	18	12	0,47 – 0,6	8,46
Vias Muito Longas	Acima de 800	29	18	0,6 – 0,75	17,4

Fonte: Autores, 2024.

Assim, podemos observar que o consumo de RCD aumenta conforme a extensão da via, variando de acordo com seu tamanho. Em vias curtas, o custo de pavimentação com RCD tende a ser relativamente baixo devido à menor quantidade de material necessário. Porém, a intensidade de tráfego e o desgaste podem aumentar a necessidade de manutenção, elevando os custos ao longo do tempo. Vias de extensão média são influenciadas pela necessidade de um pavimento mais robusto para suportar tráfego moderado.

Em vias longas, o custo inicial de pavimentação com RCD pode ser mais elevado, porém é justificado pela durabilidade e resistência necessárias para suportar tráfego intenso e constante. Para vias muito extensas, os custos são mais altos devido à grande extensão e à necessidade de infraestrutura robusta. Ainda assim, a economia a longo prazo derivada da durabilidade do pavimento e da redução dos custos com recursos naturais faz do uso de RCD uma opção vantajosa e sustentável.

A análise dos custos de pavimentação com RCD em diferentes tipos de vias destaca a importância da escolha do material em termos de economia e sustentabilidade. Cada tipo de via apresenta desafios e vantagens específicas, mas o uso de RCD contribui significativamente para a redução dos custos de construção e manutenção.

4.3 CUSTO DE TRANSPORTE

O custo de transporte engloba diversas despesas relacionadas ao deslocamento de resíduos da construção e demolição (RCD) para a obra de pavimentação urbana em Maceió. Para obter uma análise completa, é necessário compreender que os custos de transportes envolvem componentes que determinam seus valores. Duas dessas variáveis são os custos fixos e os custos variáveis.

Custos fixos são despesas que permanecem constantes, independentemente do volume de produção ou da quantidade de serviços prestados, eles não variam com o nível de atividade no curto prazo. Na construção de pavimentos urbanos, o custo de transporte está diretamente relacionado, por exemplo, na compra de caminhões com capacidades de 8m³, 15m³ e 40 m³ ou qualquer outro meio de transporte utilizado, o custo será o mesmo para a quantidade de volume de RCD coletado para a produção de pavimento na cidade. Custos Variáveis mudam diretamente com o nível de produção ou atividade, exemplos incluem os custos do transporte e logística até o local da obra, a distância entre o local de reciclagem dos RCD até a obra afeta diretamente esses custos.

Tabela 3: Modelo do caminhão

MODELO	
CAMINHÃO POLIGUINDASTE	
VALOR DE MERCADO	R\$ 250,000.00
ESTIMATIVA KM	5

Fonte: Autores, 2024.

Com base nisso, as tabelas 2 e 3 demonstram os dados que comprovam os custos de transporte.

Tabela 4: Custo do transporte

CUSTO FIXO	ANUAL
IPVA (AL)	R\$ 2,500.00
DPVAT	R\$ 16.77
LICENCIAMENTO	R\$ 90.20
REPOSIÇÃO VEÍCULO	R\$ 24,062.28
SEGURO	R\$ 9,000.00
MÃO DE OBRA	R\$ 48,000.00
DEPRECIÇÃO	R\$ 20,000.00
TAXAS/IMP.	R\$ 1,500.00
SUBTOTAL	R\$ 105,169.25
CUSTO VARIÁVEL	ANUAL
COMBUSTÍVEL	R\$ 120,000.00
PNEU	14400
MANUTENÇÃO	R\$ 20,000.00
LIMPEZA	1500
SUBTOTAL	R\$ 155,900.00
TOTAL	R\$ 261,069.25

Fonte: Autores, 2024

4.4 CUSTO DE EXECUÇÃO

Para analisarmos o custo de execução, precisamos determinar as características das camadas de pavimento em Maceió, é importante levar em conta fatores como o tráfego esperado, as condições do solo e as exigências locais. Nas vias curtas, a base utiliza solo compactado ou agregado natural para suportar cargas leves. A sub-base emprega brita graduada ou agregado reciclado compactado para tráfego moderado, distâncias curtas.

Tabela 5: Custo para execução de 1 km de Via curta

Custo para execução de 1 Km de Via curta					
Camada	Descrição	Unidade	Custo Unitário	Quantidade de Insumo	Custo Total
Revestimento	CBUQ	M³	R\$ 500,00	3.360	R\$ 1.680.000,00
Base	Brita Graduada	M³	R\$ 83,19	3.360	R\$ 279.518,40
Sub-base	RCD	M³	R\$ 45,75	3.360	R\$ 153.720,00
Sub-base	Bica Corrida	M³	R\$ 76,25	3.360	R\$ 256.200,00

Fonte: Autores, 2024.

Nas vias médias, a base é reforçada com brita graduada ou mistura de agregados para suportar tráfego moderado, e a sub-base pode incluir camadas adicionais de agregado reciclado para maior resistência estrutural. Para as vias longas, a base é robusta para suportar cargas pesadas ao longo de grandes distâncias, com brita graduada ou mistura similar. A sub-base é reforçada com camadas mais espessas de agregado reciclado, proporcionando alta resistência sob tráfego intenso e condições variáveis. Nas vias muito longas, tanto base quanto sub-base são reforçadas com agregados de alta qualidade e reciclados, reduzindo custos e melhorando a sustentabilidade.

Tabela 6: Custo para execução de 1 km de Via média.

Custo para execução 1 km de Via média					
Camada	Descrição	Unidade	Custo Unitário	Quantidade de Insumo por Km	Custo Total
Revestimento	CBUQ	M³	R\$ 500,00	4.900	R\$ 2.450.000,00
Base	Brita Graduada	M³	R\$ 83,19	4.900	R\$ 407.631,00
Sub-base	RCD	M³	R\$ 45,75	4.900	R\$ 224.175,00
Sub-base	Bica Corrida	M³	R\$ 76,25	4.900	R\$ 373.625,00

Fonte: Autores, 2024.

No presente trabalho, foi analisado o custo para 1 km de via para três tipos de vias, sendo elas: via local com tráfego leve, via de ligação com tráfego médio e via binária com tráfego médio. Os dados estão expostos nas tabelas 5,6, 7 e 8.

Tabela 7: Custo para execução de 1 km de Via longa.

Custo para execução de 1 km de via longa					
Camada	Descrição	Unidade	Custo Unitário	Quantidade de Insumo por Km	Custo Total
Revestimento	CBUQ	M³	R\$ 500,00	846.000	R\$ 423.000.000,00

Base	Brita Graduada	M ³	R\$ 83,19	846.000	R\$ 70.378.740,00
Sub-base	RCD	M ³	R\$ 45,75	846.000	R\$ 38.704.500,00
Sub-base	Bica Corrida	M ³	R\$ 76,25	846.000	R\$ 64.507.500,00

Fonte: Autores, 2024.

Tabela 8: Custo para execução de 1 km de Via muito longa.

Custo para execução de 1km de Via muito longa					
Camada	Descrição	Unidade	Custo Unitário	Quantidade de Insumo por Km	Custo Total
Revestimento	CBUQ	M ³	R\$ 500,00	17.400	R\$ 8.700.000,00
Base	Brita Graduada	M ³	R\$ 83,19	17.400	R\$ 85.260.000,00
Sub-base	RCD	M ³	R\$ 45,75	17.400	R\$ 796.050,00
Sub-base	Bica Corrida	M ³	R\$ 76,25	17.400	R\$ 1.326.750,00

Fonte: Autores, 2024.

Os resultados apresentados nas tabelas mostram que a pavimentação com RCD é economicamente viável para diferentes tipos de vias. Quando se compara as camadas de RCD da sub-base com os materiais convencionais os custos por camadas decai 60%. Por fim, cada tipo de via apresentou diferentes necessidades de materiais, com custos variados conforme a necessidade e demanda do tráfego. No entanto, em todas as análises, o RCD se destacou como uma opção viável e econômica.

5. ANÁLISE DOS CENÁRIOS

Para este trabalho, foi realizada a análise de 5 cenários para cada tipo de via, sendo elas: via curta, via média, via longa e muito longa, conforme mostrado nas tabelas a seguir.

Tabela 9: Análise dos cenários do tráfego de via curta

	Tráfego Via curta				
	Sub-base		Base	Revestimento	Custo Final
	Natural	Reciclada	Natural	Natural	
Cenário 1		100%	100%	100%	R\$ 2.113.238,40
Cenário 2	15%	85%	100%	100%	R\$ 2.128.610,40
Cenário 3	30%	70%	100%	100%	R\$ 2.143.982,40
Cenário 4	40%	60%	100%	100%	R\$ 2.154.230,40
Cenário 5	100%		100%	100%	R\$ 2.215.718,40

Fonte: Autores, 2024.

Tabela 10: Análise dos cenários do tráfego de via média

	Tráfego de Via média				
	Sub-base		Base	Revestimento	Custo Final
	Natural	Reciclada	Natural	Natural	
Cenário 1		100%	100%	100%	R\$ 3.081.806,00
Cenário 2	15%	85%	100%	100%	R\$ 3.104.223,50
Cenário 3	30%	70%	100%	100%	R\$ 3.126.641,00
Cenário 4	40%	60%	100%	100%	R\$ 3.141.586,00
Cenário 5	100%		100%	100%	R\$ 3.231.256,00

Fonte: Autores, 2024.

Tabela 11: Análise dos cenários do tráfego de via longa

	Tráfego de Via longa				
	Sub-base		Base	Revestimento	Custo Final
	Natural	Reciclada	Natural	Natural	
Cenário 1		100%	100%	100%	R\$ 532.083.240,00
Cenário 2	15%	85%	100%	100%	R\$ 535.953.690,00
Cenário 3	30%	70%	100%	100%	R\$ 539.824.140,00
Cenário 4	40%	60%	100%	100%	R\$ 542.404.440,00
Cenário 5	100%		100%	100%	R\$ 557.886.240,00

Fonte: Autores, 2024.

Tabela 12: Análise dos cenários do tráfego de Via muito longa

	Tráfego de Via muito longa				
	Sub-base		Base	Revestimento	Custo Final
	Natural	Reciclada	Natural	Natural	
Cenário 1		100%	100%	100%	R\$ 94.756.050,00
Cenário 2	15%	85%	100%	100%	R\$ 94.835.655,00
Cenário 3	30%	70%	100%	100%	R\$ 94.915.260,00
Cenário 4	40%	60%	100%	100%	R\$ 94.968.330,00
Cenário 5	100%		100%	100%	R\$ 95.286.750,00

Fonte: Autores, 2024.

A análise dos quatro tipos de tráfego revela que o uso de materiais reciclados na sub-base tem impacto significativo nos custos finais. Em todas as tabelas, é possível observar que a substituição parcial de materiais naturais por reciclados na sub-base leva a uma variação de custos, com o menor custo final sempre associado ao cenário onde se utiliza 100% de material reciclado na sub-base.

6. BENEFÍCIOS ECONÔMICOS E AMBIENTAIS

6.1 BENEFÍCIOS ECONÔMICOS

Inicialmente, foi possível perceber que o uso de agregados reciclados apresenta um custo inferior em comparação com os convencionais. Ademais, a reciclagem de RCD reduz a quantidade de resíduos que é direcionado aos aterros, o que diminui diretamente os custos associados ao descarte e aumenta a vida útil dos aterros. A tabela 13 a seguir ilustra esses benefícios de forma clara, de acordo com dados estudados.

Tabela 13: Análise do benefício econômico

Material	Bica Corrida	Brita Graduada	Brita Graduada Total	Transporte	Custo Total
Convencional	35,00 R\$/m ³	30,80 R\$/m ³	R\$ 16.632,00	R\$ 7.738,74	R\$ 24.370,74
RCD	35,00 R\$/m ³	22,00 R\$/m ³	R\$ 11.880,00	R\$ 7.738,74	R\$ 19.618,74
Diferença	0,00 R\$/m ³	8,8 R\$/m ³	R\$ 4.752	R\$ 0,00	-
Custo/Benefício (%)	0%	28,6%	28,6%	0%	-

Fonte: Autores, 2024

6.2 BENEFÍCIOS AMBIENTAIS

Ao utilizar agregados reciclados, há uma diminuição na demanda e extração de recursos naturais, preservando o meio ambiente. Durante a produção e o transporte de materiais convencionais há um consumo de energia e emissão de gases poluentes e ao utilizar RCD essas emissões de carbono são reduzidas. Esses fatores reforçam a importância de adotar práticas sustentáveis na construção civil.

7. CONCLUSÃO

Diante disso, é possível concluir que a pavimentação com RCD possui um custo inferior quando comparado com a pavimentação com materiais convencionais. A tabela de custos para a execução de 1 km de Via curta mostrou que a utilização de RCD reduziu o custo total em comparação com a utilização de materiais convencionais. Da mesma forma, nas vias média, longa e muito longa, o RCD também proporcionou uma opção mais econômica sem comprometer a qualidade do pavimento.

Também foi possível perceber que além dos benefícios econômicos, a utilização de

RCD oferece vantagens ambientais significativas, como a conservação de recursos naturais, redução na pegada de carbono e a minimização de resíduos em aterros sanitários.

Os objetivos do presente trabalho foram alcançados, comprovando a importância de analisar e compreender as estruturas e características dos pavimentos. Em suma, a análise demonstrou que a pavimentação com RCD é uma alternativa viável tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental. A adoção dessa prática não só reduz os custos de construção, mas também promove a sustentabilidade e a responsabilidade ambiental, atendendo às crescentes demandas por práticas de construção mais verdes e eficientes.

8. REFERÊNCIAS

ASLAM, M. S.; HUANG, B.; CUI, C. Construction and demolition waste as recycled aggregate for environmentally friendly concrete paving. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 26, n. 8, p. 7769-7781, 2019.

AKHTAR, A.; SARMAH, A. K. Construction and demolition waste generation and properties of recycled aggregate concrete: A global perspective. *Journal of Cleaner Production*, v. 172, p. 297-305, 2018.

ABNT NBR 15115 - Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - execução de camada de pavimentação - Procedimentos. Associação Brasileira de normas técnicas, 2004.

BRASIL, R. M. L. R.; ROSA, L. S. Estudos de caso sobre a gestão de resíduos da construção civil: aspectos ambientais e econômicos. In: *GESTÃO de resíduos na construção civil*. Elsevier, 2018.

COELHO, A.; DE BRITO, J. Economic viability analysis of a construction and demolition waste recycling plant in Portugal. *Journal of Cleaner Production*, v. 39, p. 338-352, 2013.

CARNEIRO, A. P. BURGOS, P. C., ALBERTE, E. P. V. - Uso do agregado reciclado em camadas de base e sub-base de pavimentos. Projeto entulho bom, 2001.

HOSSAIN, M. U.; POON, C. S.; LO, I. M.; CHENG, J. C. Comparative environmental evaluation of aggregate production from recycled waste materials and virgin sources by LCA. *Resources, Conservation & Recycling*, v. 109, p. 67-77, 2016.

KADIR, A. A.; RAMLI, M.; OTHMAN, M. A. Economic evaluation of using recycled concrete aggregates in pavement construction: A case study on pavement sustainability in Malaysia. *Construction and Building Materials*, v. 333, p. 126886, 2023.

LEITE, M. B.; MOTTA, R. S.; VASCONCELOS, K. L.; BERNUCCI, L. Laboratory evaluation of recycled construction and demolition waste for pavements. *Construction and Building Materials*, v. 25, n. 6, p. 2972-2979, 2011.

LEITE, F.C.; MOTTA, R.S.VASCONCELOS, K.L.; BERNUCCI, L. Avaliação de laboratório de resíduos reciclados de construção e demolição para pavimentos. *Construção e materiais de construção*. 25, 2011, 2972-2979.

MENDES, J. C. Gestão de resíduos da construção civil: práticas sustentáveis e inovadoras. Blucher, 2019.

Reutilização de resíduos de construção e demolição para preservação do meio ambiente e redução de custos - ISSN 1678-0817 Qualis B2. Revista ft, [s.d.].

SILVA, R. V.; DE BRITO, J.; DHIR, R. K. Establishing a relationship between modulus of elasticity and compressive strength of recycled aggregate concrete. *Journal of Cleaner Production*, v. 112, p. 2171-2186, 2016.

SILVA, R. V.; NEVES, D. V.; DELLA, V. P. Assessment of environmental and economic impacts of using recycled concrete aggregates in pavement construction: A case study in Brazil. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 185, p. 105280, 2022.

SOUSA, C.; SANTOS, D. A. L.; DUTRA, L. M. Reutilização de resíduos de construção e demolição para preservação do meio ambiente e redução de custos. *Ciências Exatas e da Terra, Engenharias*, v. 26, n. 116, nov. 2022.

VERIAN, K. P.; ASHRAF, W.; CAO, Y. Properties of recycled concrete aggregate and their influence in new concrete production. *Resources, Conservation & Recycling*, v. 133, p. 30-49, 2018.