

**Projeto e análise mecanicista de pavimentos de asfalto com reforço de sub-base utilizando o AEMC**

**Design and mechanic analysis of asphalt pavements with subgrade reinforced using the AEMC software**

**Diseño y análisis mecánico de pavimentos asfálticos con subgrado reforzado con el software AEMC**

DOI:10.34117/bjdv10n2-012

Originals received: 01/04/2024

Acceptance for publication: 01/26/2024

**Pablo de Mello**

Graduando em Engenharia Civil

Instituição: Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Endereço: Av. Profa. Laura Pacheco Bastos, 800, Guarapuava - PR, CEP: 85053-525

E-mail: pablomello@alunos.utfpr.edu.br

**Gabriel Bueno Brandão Simões**

Graduado em Engenharia Civil

Instituição: Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Endereço: Av. Profa. Laura Pacheco Bastos, 800, Guarapuava - PR, CEP: 85053-525

E-mail: gbueno@gmail.com

**Gustavo de Miranda Saleme Gidrão**

Doutor em Engenharia das Estruturas

Instituição: Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Endereço: Av. Profa. Laura Pacheco Bastos, 800, Guarapuava - PR, CEP: 85053-525

E-mail: gidrao@utfpr.edu.br

**Rúbia Mara Bosse**

Doutor em Engenharia das Estruturas

Instituição: Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Endereço: Av. Profa. Laura Pacheco Bastos, 800, Guarapuava - PR, CEP: 85053-525

E-mail: rubiambosse@utfpr.edu.br

**Mariane Kempka**

Doutor em Engenharia das Estruturas

Instituição: Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Endereço: Av. Profa. Laura Pacheco Bastos, 800, Guarapuava - PR, CEP: 85053-525

E-mail: marianekempka@utfpr.edu.br

**Laura Silvestro**

Doutor em Engenharia das Estruturas

Instituição: Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Endereço: Av. Profa. Laura Pacheco Bastos, 800, Guarapuava - PR, CEP: 85053-525

E-mail: laurasilvestro@utfpr.edu.br

## RESUMO

A Construção Civil é umas das grandes responsáveis por geração de resíduos em vários âmbitos de sua cadeia produtiva. Destes resíduos, destacam-se os Resíduos da Construção Civil (RCC), gerados pela falta de reaproveitamento descarte inadequado, além do desconhecimento sobre o aproveitamento deste material. Desta forma, o presente artigo apresenta uma metodologia é para a utilização e dimensionamento de camadas de pavimentos asfálticos que utilizem o RCC como agregado graúdo e/ou camada de infraestrutura. Neste contexto, uma análise mecânica do material utilizado o RCC como reforço de subleito em pavimentos asfálticos de estradas é efetuado. Neste sentido, o estudo promoveu o ensaio de índice de suporte Califórnia (CBR) da brita reciclada, e posteriormente realizou-se o dimensionamento empírico utilizando o método DNIT e avaliação estrutural mecanicista utilizando o MeDiNa AEMC. Os resultados de tensões, deformações e deslocamentos revelam que o material pode substituir parcialmente a brita granulada simples (BGS) como material de sub-base, contribuindo positivamente para o desempenho estrutural da infraestrutura rodoviária. Cabe salientar que este é um estudo preliminar, mas o emprego do material pode vir a ser interessante em um curto e médio prazo, contribuindo significativamente para mais uma maneira de descarte útil e consciente, trazendo uma sustentabilidade para a Construção Civil.

**Palavras-chave:** resíduo da construção civil, RCC.

## ABSTRACT

The Construction industry is one of the major contributors to waste generation in various aspects of its production chain. Construction and Demolition Waste (CDW) stand out, generated by the lack of reuse and inadequate disposal, as well as a lack of knowledge about the potential uses of this material. Thus, this article presents a methodology for the use and design of asphalt pavement layers that use CDW as coarse aggregate and/or infrastructure layer. In this context, a mechanical analysis of the material used as a subgrade reinforcement in asphalt pavements for roads is carried out. In this sense, the study promoted the California Bearing Ratio (CBR) test of recycled aggregate, and subsequently, empirical design was performed using the DNIT method and mechanistic structural evaluation using the MeDiNa AEMC. The results of stresses, strains, and displacements reveal that the material can partially replace the simple granular gravel (BGS) as a sub-base material, contributing positively to the structural performance of the road infrastructure. It should be noted that this is a preliminary study, but the use of the material may be of interest in the short and medium term, significantly contributing to another way of useful and conscious disposal, bringing sustainability to the Construction industry.

**Keywords:** construction and demolition waste, CDW.

## RESUMEN

La industria de la construcción es uno de los principales contribuyentes a la generación de residuos en diversos aspectos de su cadena de producción. Destacan los Residuos de Construcción y Demolición (RCD), generados por la falta de reutilización y disposición inadecuada, así como el desconocimiento sobre los usos potenciales de este material. Así, este artículo presenta una metodología para el uso y diseño de capas de pavimento asfáltico que utilizan CDW como capa de agregado grueso y/o de infraestructura. En este contexto, se realiza un análisis mecánico del material utilizado como refuerzo de subgrado en pavimentos asfálticos para carreteras. En este sentido, el estudio promovió la prueba

California Bearing Ratio (CBR) de áridos reciclados, y posteriormente, se realizó un diseño empírico utilizando el método DNIT y una evaluación estructural mecanicista utilizando el MeDiNa AEMC. Los resultados de esfuerzos, deformaciones y desplazamientos revelan que el material puede sustituir parcialmente a la grava granular simple (BGS) como material sub-base, contribuyendo positivamente al desempeño estructural de la infraestructura vial. Cabe señalar que se trata de un estudio preliminar, pero el uso del material puede ser de interés a corto y medio plazo, contribuyendo significativamente a otra forma de eliminación útil y consciente, aportando sostenibilidad a la industria de la construcción.

**Palabras clave:** residuos de construcción y demolición, CDW.

## 1 INTRODUÇÃO

A construção civil é uma indústria com importância estratégica no Brasil, no entanto é uma grande geradora de resíduos, denominamos, como Resíduos Sólidos da Construção Civil (RCC). Estes resíduos são amplamente gerados, podendo ser descritos como: areia, argamassa, materiais cerâmicos, concretos, madeira, tintas, tijolos, além de outros vários que nos originam diversos problemas na gestão desses resíduos (MACENA; LEME, 2017). Segundo MANFRINATO (2018), a geração de RCC continua crescendo devido ao desperdício observado na execução de empreendimentos sejam das esferas pública ou privada, gerando problemas quando estes resíduos são dispostos incorretamente. Assim, sendo este um problema ambiental para a sociedade.

A estimativa é que em torno de 35% das quantidades geradas de RCC sejam direcionadas para aterros, sem nenhum tratamento adicional, embora as formas de reciclar e reutilizar sejam cada vez mais investigadas. Embora esforços para reciclar e reutilizar sejam cada vez mais viabilizados (MENEGAKI; DAMIGOS, 2018).

Segundo MOTTER (2013), a utilização dos agregados de RCC se demonstra viável economicamente, graças sua disponibilidade e abundância de tais resíduos. Segundo a Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (ABRECON, 2017), os resíduos da construção civil também possibilitam uma economia nos custos da obra, embora este material tenha uma maior variabilidade.

Segundo ALMEIDA (2018), os pavimentos utilizando RCC tem a mesma forma de dimensionamento utilizada em pavimentos tradicionais. Entretanto o RCC deve sofrer uma análise e determinação, das propriedades de quaisquer materiais que os constituem, para o dimensionamento correto do pavimento. Os autores indicam que a análise do índice de degradação pavimento utilizando Resíduos da construção civil, é fundamental, pois a

depende de sua compactação pode sofrer uma alteração granulométrica, podendo assim gerar algum tipo de dano e instabilidade ao pavimento (PEREIRA, 2018).

Segundo MOTTER (2013), o uso de RCC como agregados para pavimentação deve respeitar um grande limitador de sua utilização, sendo a capacidade da via, a qual deve ser de pouco tráfego, sendo o número máximo de repetições menor que 1 milhão de ciclos. Este limitador é principalmente ligado a baixa resistência e rigidez do material, em comparação aos agregados usualmente utilizados nas camadas de infraestrutura.

Entretanto, BEIJA (2014) destaca que os agregados reciclados atendem as características necessárias para sua utilização em vias com maior fluxo de veículos, pela sua pouca deformabilidade, a qual garante mais resistência mecânica. A autora SANTOS (2015), observou o mesmo, afirmando a possibilidade do uso do RCC no âmbito rodoviário, graças a sua viabilidade econômica e técnica, pois o mesmo demonstrou capacidade em atuar até em camadas mais nobres do pavimento. Portanto fica claro que mais estudos no campo devem ser efetuados, a fim de se determinar a viabilidade técnica do material.

SANGIORGI (2015) ressalta a necessidade de uma compactação adequada do RCC, pela sua possível variação granulométrica. No entanto, o autor pontua sobre a capacidade da utilização do RCC como agregado em pavimentos, em camadas internas. CARDOSO (2016) reforça sobre a compactação correta, que deve se dar pela característica do RCC, a mesma evidência a maior necessidade de ensaios do agregado formado pelos resíduos reciclados da construção civil, os quais apresentam uma variabilidade maior que agregados naturais, conforme supracitado.

Portanto, de acordo com o contexto apresentado, o agregado reciclado tem grande complexidade para sua utilização, e sobretudo, os desenvolvimentos científicos vem apresentando grande enfoque nas propriedades físico-mecânicas destes materiais, como por exemplo (COURARD, MICHEL E DELHEZ, 2010; MALYSZ ET AL., 2023; PLAZA ET AL., 2021). Assim o presente trabalho avança no dimensionamento estrutural de uma infraestrutura de pavimento asfáltico com baixas solicitações (i.e., número de repetições de até  $1E+06$ ), utilizando como material construtivo de reforço de sub-base o RCC. Para tanto, se utilizará o método empírico de dimensionamento preconizado pelo DNIT (2006) e posterior análise de deslocamentos utilizando o software MeDiNa AEMC (DNIT, 2020).

A incorporação do agregado reciclado pode ser justificada não somente pela grande sustentabilidade intrínseca deste material, mas também pela diminuição de custos

que o RCC poderá representar nas composições finais de pequenas infraestruturas rodoviárias. A utilização do RCC em infraestruturas rodoviárias poderá gerar uma notável diminuição nos resíduos da construção civil, que cada dia mais são produzidos sem um fim adequado.

## **2 METODOLOGIA**

### **2.1 SOLO NATURAL**

Foi necessário se estabelecer um solo natural de referência para o desenvolvimento do estudo. Assim, a região escolhida foi de Guarapuava - PR, localizada no centro-sul do estado (Latitude Sul: 25° 23' 26". Longitude Oriental: 51° 27' 15" Oeste – WGS.). A cidade está localizada no terceiro planalto paranaense, sendo o solo classificado por Bonifácio et al (2021) como ML, segundo o Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS). Sendo assim, o CBR do solo natural da região apresenta variação entre 2% à 15%.

### **2.2 AGREGADOS RECICLADOS**

A Figura 1 apresenta o agregado graúdo utilizado no presente estudo. O agregado fora obtido através da coleta na Usina de Reciclagem de Entulhos de Guarapuava PR. O material é oriundo das obras da cidade e apresenta variabilidade visível, conforme a inspeção visual (vide Figura 1). Após a coleta, fez-se o ensaio mecânico do CBR, no laboratório de mecânica dos solos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, conforme procedimento descrito na Figura 2.

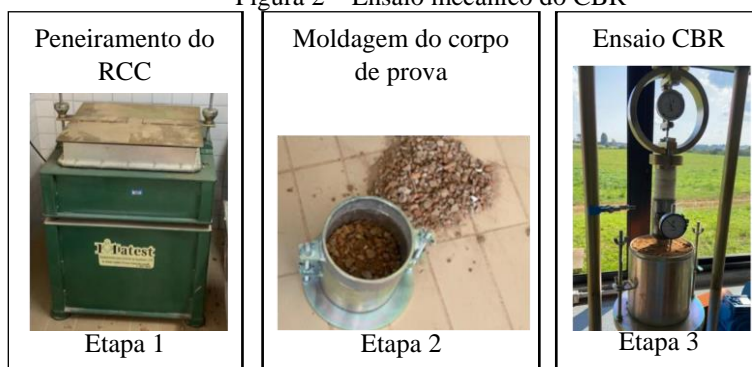
O ensaio CBR foi realizado em uma prensa Marshall, com capacidade de 5000 kgf, automatizada, da marca SoloTest.

Figura 1 – Agregados reciclados comercializados na Usina de Reciclagem de Entulho de Guarapuava – PR



Fonte – Autoria Própria (2023)

Figura 2 – Ensaio mecânico do CBR



Fonte – Autoria própria (2023)

O ensaio do agregado foi realizado em 5 corpos de prova Marshall, com umidade e temperatura ambiente. O valor do CBR foi calculado seguindo a Equação 1, conforme a ABNT NBR 9895. Foram aplicados 55 golpes em 5 camadas dos corpos de prova, representando a energia de compactação modificada.

$$CBR = \frac{\textit{pressão calculada ou corrigida}}{\textit{pressão padrão}} \quad (1)$$

### 2.3 DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO FLEXÍVEL UTILIZANDO O MÉTODO EMPÍRICO

Para a análise, o valor anual de tráfego utilizado foi tomado como constante de  $N = 10^6$ , sendo embasado nas prescrições da ABNT NBR 15115 (2004), a qual salienta que o uso do RCC em pavimentos se resume a vias urbanas de baixo tráfego. Tendo adotado esse valor ao número de repetições, o DNIT (2006) informa a necessidade do

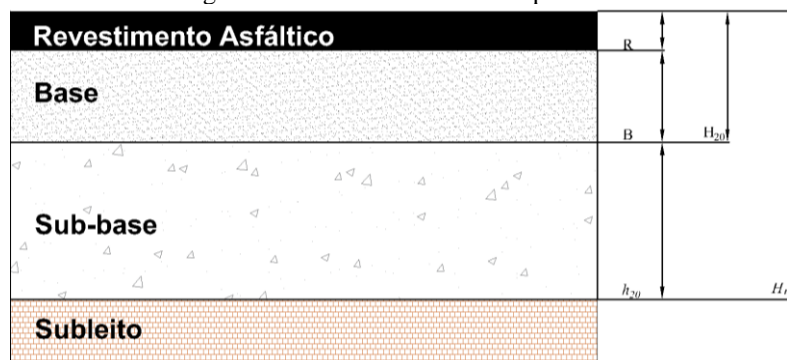
tratamento superficial betuminoso. Contudo, como uma maneira de concepção executiva, adotou-se 5 cm de espessura de concreto betuminoso.

Além do RCC utilizado na sub-base, os demais materiais empregados nas camadas do pavimento são os usuais neste tipo de construção, ou seja:

- I.Revestimento de Concreto Asfáltico Betuminoso RJ CAP 50/70;
- II.Base de brita granulada simples (BGS) com CBR de 80 %;
- III.Solo natural com CBR variável de acordo com o cenário da região de Guarapuava – PR.

Para fins de nomenclatura, as alturas totais e espessuras das camadas do pavimento são expressas conforme as siglas representadas na Figura 3:

Figura 3 – Dimensionamento do pavimento



Fonte – Autoria própria (2023)

Em que:

- R é a espessura da camada de revestimento (cm);
- B é a espessura da camada de base (cm);
- h<sub>20</sub> é a espessura da camada de sub-base (cm);
- H<sub>20</sub> é a espessura até a sub-base (cm);
- H<sub>n</sub> é a espessura até o subleito (cm);

Por fim, para obter as espessuras de base ( $B$ ) e sub-base ( $H_{20}$ ), utilizam-se das inequações a seguir, representadas pelas Equações 2 e 3 segundo (DNIT, 2006).

$$R * K_r + B * K_b \geq H_{20} \tag{2}$$

$$R * K_r + B * K_b + h_{20} * K_s \geq H_n \tag{3}$$

Os coeficientes de equivalência estrutural utilizados foram:  $K_r$  igual à 2,0;  $K_b$  de 1,0;  $K_s$  de 1,0. Finalmente, a espessura total para se proteger uma camada de determinado CBR é determinada conforme a Equação 5:

$$H_t = 77,67 * N^{0,0482} * CBR^{-0,598} \tag{4}$$

Para esta etapa, se objetivou realizar uma análise paramétrica onde foram mantidas as espessuras de base e revestimento constantes, enquanto o CBR do solo natural variou de 2% a 15% gerando espessuras variáveis de RCC. O Quadro 2 apresenta os casos utilizados para o estudo do presente artigo:

Quadro 1 – Casos estudados

ID	CBR Solo (%)	CBR RCC (%)	Espessura da base de BGS (cm)	Espessura do Revestimento asfáltico (cm)
1	2			
2	3			
3	4			
4	5			
5	6			
6	7			
7	8			
8	9	20,9	20	5
9	10			
10	11			
11	12			
12	13			
13	14			
14	15			

Fonte – Autoria própria (2023)

#### 2.4 AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DOS DESLOCAMENTOS

Posteriormente, visando a verificação mecânica, realizaram-se simulações de esforços mecânicos no pavimento com os agregados convencionais e os agregados reciclados. Para esta etapa, utilizou-se o Software AEMC do Método de dimensionamento nacional, MeDiNa (MEDINA, DNIT, 2020). Para esta etapa, é necessário a entrada dos parâmetros elásticos do material, i.e., Módulo de Elasticidade do material em MPa, e coeficiente de Poisson.



O módulo de elasticidade é obtido, por simplificação, por meio de correlação com o ensaio CBR, similarmente realizado por BEIJA (2020), onde se toma a deformação gerada pela tensão do pistão, e se relaciona com a com a respectiva tensão, considerando a Lei de Hooke (Equação 6):

$$\sigma = E * \varepsilon \quad (5)$$

Os valores de massa específica dos materiais usuais (i.e., Asfalto e BGS) foram tomados como os característicos indicados no AEMC MeDiNa, enquanto a massa específica do RCC foi obtida segundo o ensaio descrito na seção 2.2. Os coeficientes de Poisson foram de 0.3 para o CAP 50/70 e 0.35 para os agregados.

Figura 3 – Dimensionamento do pavimento

Material	E (MPa)	Coefficiente de Poisson	Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )
RJ CAP 50/70	4500	0,30	2,400
Brita Graduada - Gnaisse C7	300	0,35	2,244
Brita 1 reciclada	187	0,35	2,040

Fonte – Autoria própria (2023)

Após o cálculo de deslocamentos, tensões e deformações, faz-se a avaliação de tensões e deflexões admissíveis no pavimento. Para esta etapa, foi utilizado o eixo duplo padrão, com carga igual à 8,2 ton, pressão dos pneus de 0,56 MPa, área de 366,07 cm<sup>2</sup> e de raio de 10,79 cm, conforme a carga apresentada no AEMC MeDiNa.

As verificações de tensão admissível nas camadas, bem como o deslocamento elástico admissível foram realizadas conforme as Equações 6 e 7, com  $\sigma_{adm}$  sendo a tensão admissível,  $D_{adm}$  sendo a deflexão elástica admissível, MEDINA e MOTTA (2005):

$$\sigma_{adm} = \frac{0,006E}{1 + 0,7\log N} \quad (6)$$

$$\log D_{adm} = 3,01 - 0,176\log N \quad (7)$$

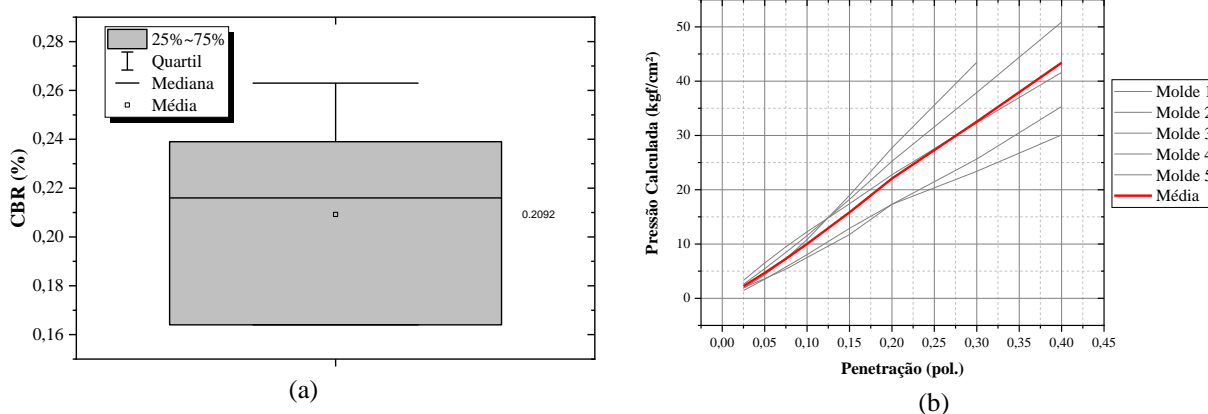
Em que N é o número de repetições, no caso deste artigo N = 1E+6;

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DO RCC POR MEIO DE TESTE DE ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA (CBR)

O valor médio do valor de CBR para o RCC foi de 20,92%. Para este valor, o material pode ser utilizado para fins de subleito, conforme classificação do DNIT. A variabilidade obtida os resultados experimentais podem ser apresentados conforme o Boxplot do Gráfico 1.a O Gráfico 1.b representa o gráfico característico de penetração vs. Deslocamento da média e individual das amostras obtidos no ensaio CBR.

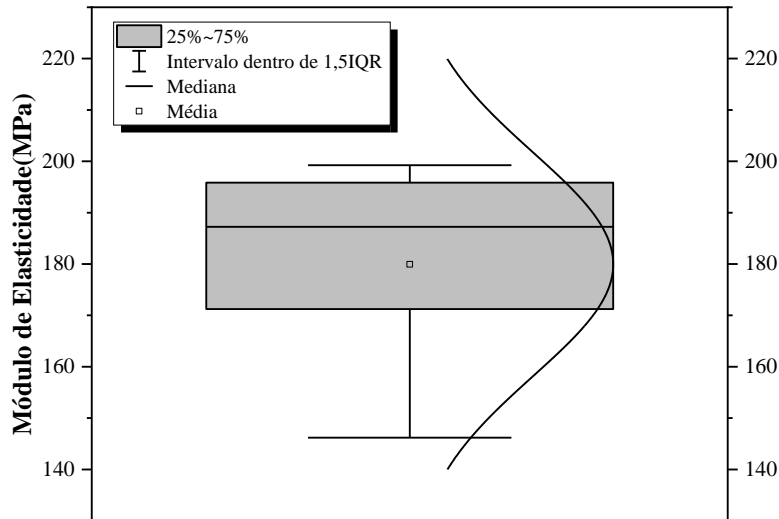
Gráfico 1 – Características do agregado reciclado: (a) *Boxplot* dos valores de CBR; (b) Gráfico Penetração x Pressão calculada da média dos CBRs



Fonte – Autoria própria (2023)

Utilizando a abordagem simplificada no item 2.4, o módulo de elasticidade do RCC adotado no software AEMC MeDiNa é o valor médio de 187 MPa, conforme o boxplot do Gráfico 2:

Gráfico 2 – Boxplot módulo de elasticidade RCC



Fonte – Autoria própria (2023)

### 3.2 DIMENSIONAMENTO E VERIFICAÇÃO DO PAVIMENTO FLEXÍVEL

Os principais resultados obtidos pelo dimensionamento empírico são apresentados no Quadro 3:

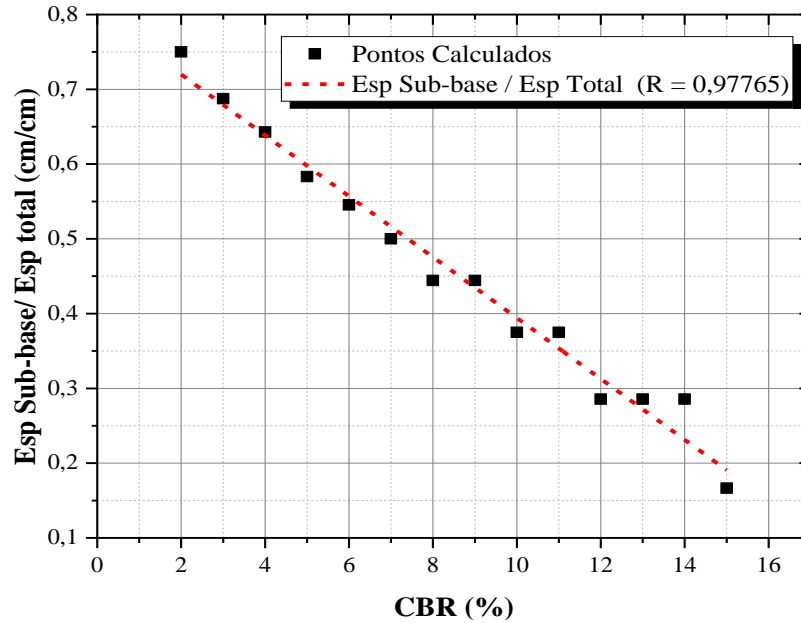
Quadro 3 – Dimensionamento dos pavimentos em todos os CBR’S do solo de Guarapuava

ID	CBR Solo (%)	CBR RCC (%)	Espessura do Revestimento asfáltico (cm)	Espessura da base (cm)	Espessura da sub-base de RCC (cm)	Espessura final (cm)
1	2				75	100
2	3				55	80
3	4				45	70
4	5				35	60
5	6				30	55
6	7				25	50
7	8	15	5	20	20	45
8	9				20	45
9	10				15	40
10	11				15	40
11	12				10	35
12	13				10	35
13	14				10	35
14	15				5	30

Fonte – Autoria própria (2023)

Nota-se a partir da Quadro 3, que a diminuição do CBR do solo natural acarreta a crescente necessidade de reforço de subleito, função esta desempenhada pelo agregado reciclado. Este fenômeno pode ser sintetizado conforme o Gráfico 3, onde se observa o valor da Espessura da Sub-base de RCC pela Espessura Final, com o CBR variando de 2% até 15%.

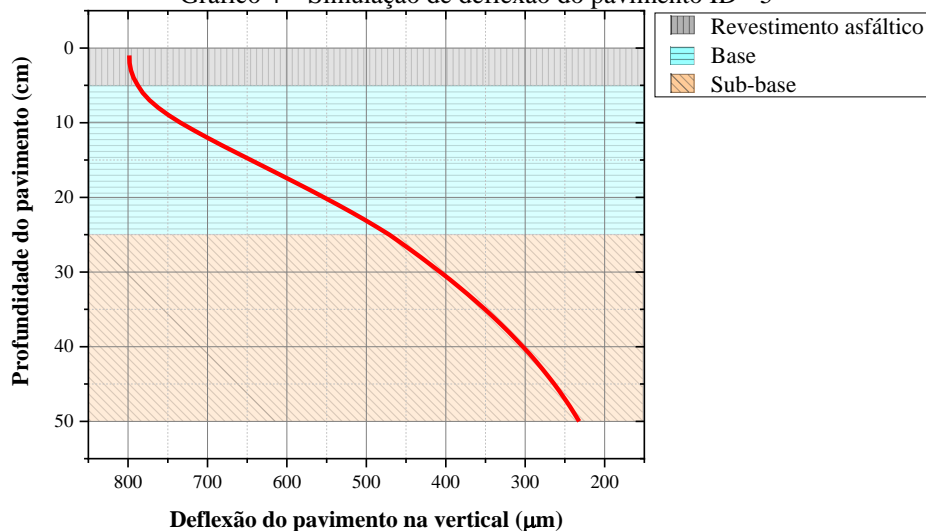
Gráfico 3 – Gráfico da espessura do pavimento em relação aos CBR's estudados



Fonte – Autoria própria (2023)

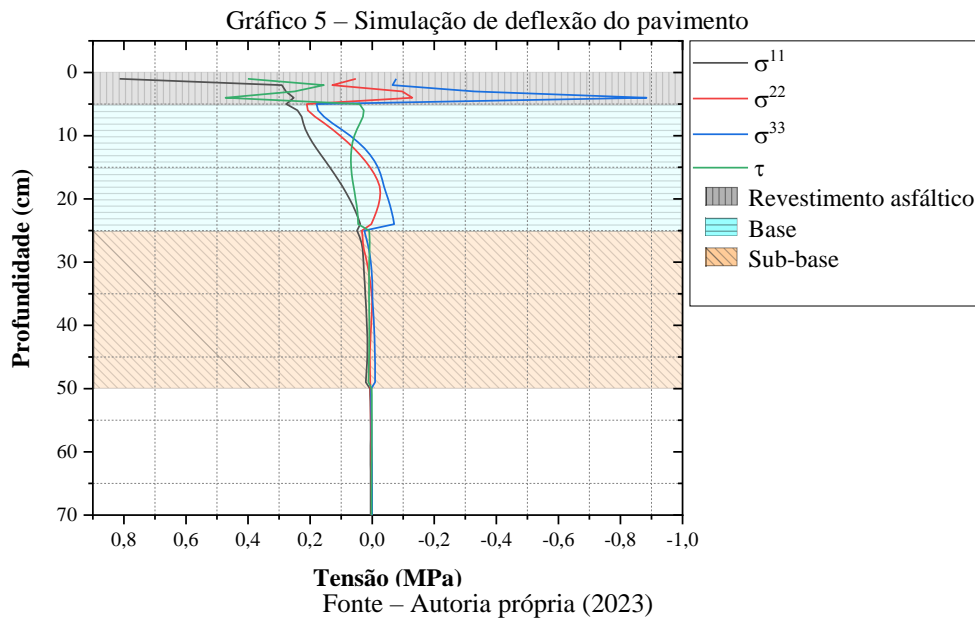
O Gráfico 4 apresenta o comportamento de deflexão ao longo da seção transversal da via, considerando o valor de CBR igual à 6 % de CBR. Nota-se que o deslocamento máximo ocorre no topo do revestimento asfáltico, com valor de 757  $\mu\text{m}$ , sendo menor que o valor de deslocamento máximo apresentado pela Eq. 7 (vide Quadro 4). Além disso, nota-se que o deslocamento é progressivamente diminuído ao longo do corte da seção transversal, sendo este comportamento adequando para se dissipar as tensões e deformações ao longo da seção transversal.

Gráfico 4 – Simulação de deflexão do pavimento ID - 5



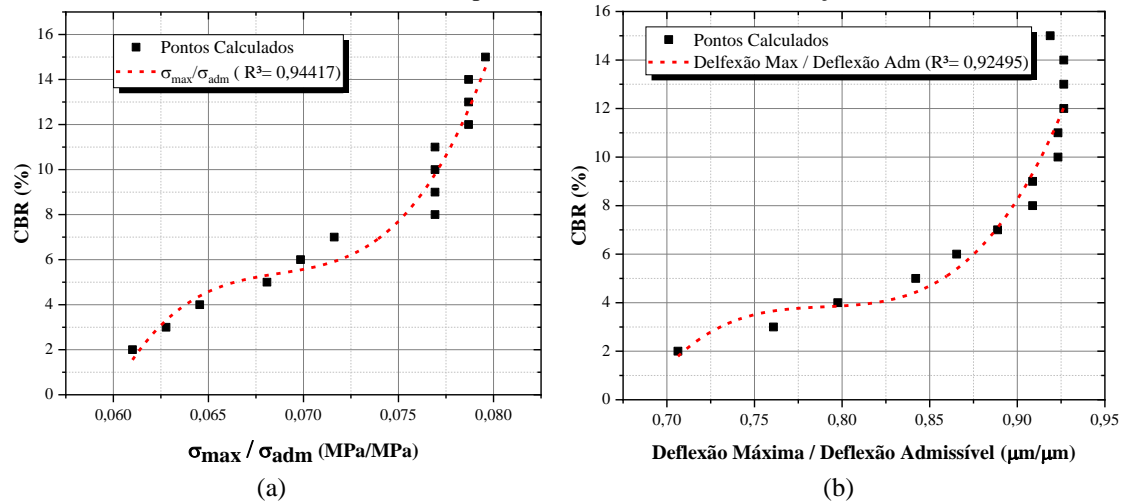
Fonte – Autoria própria (2023)

A análise das tensões da simulação realizada no AEMC pode ser demonstrada conforme o Gráfico 5. Neste caso, se sustenta a hipótese de capacidade do pavimento dimensionado resistir aos esforços solicitantes, tendo comportamento estrutural adequado, com as tensões menores que àquelas obtidas pela Equação 6 (vide Quadro 4).



O gráfico 6 apresenta a influência do valor de CBR em relação as relações de tensão por tensão admissível (Gráfico 6.a) e deflexão por deflexão admissível (Gráfico 6.b). De forma direta, a deflexão do pavimento tende a um aumento com valores de CBR mais elevado, uma vez que são requeridas pelo dimensionamento camadas de infraestrutura menores. Os valores sempre são inferiores a 1, o que indica que os valores calculados não violam os de resistência. O Quadro 4 sintetiza a verificação estrutural das seções analisadas anteriormente.

Gráfico 6 – Propriedades do agregado reciclado: (a) Tensão máxima por tensão admissível em relação aos CBRs; (b) Deflexão máxima por Deflexão admissível em relação ao CBRs



Fonte – Autoria própria (2023)

Quadro 4 – Dimensionamento dos pavimentos em todos os CBR'S do solo de Guarapuava

ID	CBR Solo (%)	CBR RCC (%)	Deflexão admissível (μm)	Deflexão máxima (μm)	tensão admissível (MPa)	tensão solicitante (MPa)
1	2	15	899	635	11,31	0,69
2	3	15	899	684	11,31	0,71
3	4	15	899	717	11,31	0,73
4	5	15	899	757	11,31	0,77
5	6	15	899	778	11,31	0,79
6	7	15	899	799	11,31	0,81
7	8	15	899	817	11,31	0,87
8	9	15	899	817	11,31	0,87
9	10	15	899	830	11,31	0,87
10	11	15	899	830	11,31	0,87
11	12	15	899	833	11,31	0,89
12	13	15	899	833	11,31	0,89
13	14	15	899	833	11,31	0,89
14	15	15	899	826	11,31	0,90

Fonte – Autoria própria (2023)

#### 4 CONCLUSÃO

O presente artigo contribui para apresentar o processo de dimensionamento de pavimentos flexíveis utilizando como reforço de sub-base: o RCC. O trabalho é um esforço inicial para o dimensionamento deste tipo de infraestrutura, devendo ser mais investigado em futuras pesquisas, uma vez que este resíduo causa grande impacto social e ambiental a construção civil. Dos resultados obtidos, pode-se estabelecer os seguintes pontos:

- O valor de CBR médio obtido para o RCC foi de 20,92%, podendo ser utilizado como valor de referência no anteprojeto deste tipo de infraestrutura. No entanto, cabe salientar que devido à grande variabilidade do material, este valor

deve ser determinado por meio de uma avaliação experimental criteriosa, para cada caso de estudo.

- A investigação é limitada ao comportamento elástico linear uniaxial, sendo uma notável limitação do estudo. Ensaio em regime biaxial, com determinação de evolução de dano e acúmulo de plasticidade devem ser realizados em futuros estudos, para melhor entendimento do material.
- Por meio das simulações desenvolvidas, pode-se verificar que o RCC apresenta viabilidade mecânica como reforço de subleito, porém mais simulações e estudos experimentais em escala real devem ser realizados. Outra preocupação levantada pode ser quanto a durabilidade do material em longos períodos de tempo.
- Após a investigação não há indícios mecânicos de que o RCC pode influenciar negativamente a infraestrutura de pavimentos flexíveis, acarretando assim em vários benefícios de sustentabilidade para a indústria da construção civil.

## REFERÊNCIAS

ABRECON (Associação Brasileira para Reciclagem de Construção Civil e Demolição). Reciclagem de resíduos da construção e demolição no Brasil. Disponível em <<http://abrecon.org.br/>>. Acesso em 20 ago. 2022.

ALMEIDA, Jupira et al. Estudo de viabilidade econômica do uso do agregado de RCD em pavimentação de vias urbanas. *Revista de Engenharia Civil*, v. 54, p. 16-25, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15115 Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos. Rio de Janeiro, 2004e.

BEJA, I. A.; MOTTA, R.; BERNUCCI, L. B. Application of recycled aggregates from construction and demolition waste with Portland cement and hydrated lime as pavement subbase in Brazil. *Construction and Building Materials*, v. 258, p. 119520, out. 2020.

BEJA, I. A.; Agregado reciclado de construção e demolição com adição de aglomerantes hidráulicos como sub-base de pavimentos. 2014. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

BERNUCCI, L. B.; Motta, L. M.; Ceratti, J. A.; Soares, J. B. *Pavimentação Asfáltica: Formação básica para engenheiros*. Rio de Janeiro. PETROBRAS: Abeda, 2008.

BONIFÁCIO, Guilherme Alves. Propriedades geotécnicas de um solo residual de basalto na região de Guarapuava – PR. Trabalho de Conclusão de Curso – Coordenação de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná., UTFPR, Câmpus Guarapuava, 2021.

CARDOSO, Rafaela et al. Use of recycled aggregates from construction and demolition waste in geotechnical applications: A literature review. *Waste management*, v. 49, p. 131-145, 2016

Courard, L., Michel, F., & Delhez, P. (2010). Use of concrete road recycled aggregates for Roller Compacted Concrete. *Construction and Building Materials*, 24(3), 390–395. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.08.040>

DNIT (2006). Manual de pavimentação. Publicação IPR – 179. Ministério dos Transportes. Departamento nacional de infra-estrutura de transportes, Instituto de Pesquisas Rodoviárias.

DNIT: Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos. Versão 1.1.5.0. DNIT TED 682/2014. Disponível em: <<https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/medina/solicitacao-de-download-do-medina>>. Acesso em 20 ago. 2022.,2

MACENA, C. L.; LEME, M. A. G. Reciclagem de resíduos sólidos na construção civil. Foco: Caderno de Estudos e Pesquisas, v. 1, p. 38-53, 2017.

Malysz, G. N., Bosse, R. M., De Miranda Saleme Gidrão, G., Silvestro, L., Coitinho Dal Molin, D. C., & Masuero, A. B. (2023). Service-life prediction of recycled coarse



aggregate concrete under natural carbonation: A time-dependent reliability analysis. *Construction and Building Materials*, 387, 131632. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2023.131632>

MANFRINATO, J. W. S.; et al. Implantação de usina para reciclagem de resíduos da construção civil (RCC) como ação para o desenvolvimento sustentável – Estudo de caso. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. 28., 2008, Rio de Janeiro. Anais...

MEDINA, J. MOTTA, L. M. G. Mecânica dos pavimentos. 2 ed. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 2005, 570 p.

MENEGAKI, M.; DAMIGOS, D. A review on current situation and challenge of construction and demolition waste management. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, v. 13, p. 8-15, 2018.

MOTTER, Janaína Setin. Propriedades de concretos betuminosos usinados a quente com o uso de agregado graúdo reciclado de concreto. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

PEREIRA, Henrique. Caracterização física e mecânica do agregado reciclado de concreto e do agregado reciclado de revestimento cerâmico para aplicação em camada de base de pavimentos. 2018.

Plaza, P., Sáez del Bosque, I. F., Frías, M., Sánchez de Rojas, M. I., & Medina, C. (2021). Use of recycled coarse and fine aggregates in structural eco-concretes. Physical and mechanical properties and CO2 emissions. *Construction and Building Materials*, 285. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122926>

SANGIORGI, Cesare; LANTIERI, Claudio; DONDI, Giulio. Construction and demolition waste recycling: An application for road construction. *International Journal of Pavement Engineering*, v. 16, n. 6, p. 530-537, 2015.

SANTOS, Adriana Goulart et al. Avaliação do custo de construção de uma estrutura de pavimento empregando agregado reciclado de RCD. *REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, v 10, n. 1, 2015.