

19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



## 25º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) 48ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPV)

### AVALIAÇÃO DE DOSAGENS DE MISTURAS ASFÁLTICAS DENSAS COM UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

DOI: (a ser preenchido após o envio do código DOI da publicação)

*Rafael Cristyan Fronza<sup>1</sup>; Breno Salgado Barra<sup>1</sup>; Alexandre Mikowski<sup>1</sup>; Yader Guerrero Pérez<sup>1</sup>*

#### RESUMO

O objetivo deste trabalho é a avaliar os parâmetros de dosagem de misturas asfálticas densas com a incorporação de resíduo de construção e demolição (RCD). As curvas granulométricas foram estabelecidas através do método racional, utilizando as equações de Füller-Talbot. As misturas asfálticas possuem característica densa, diâmetro máximo de 12,7 mm e dosagens de ligante entre 4,86 % a 7,42 %. A caracterização do RCD foi procedida em análises por microscopia eletrônica de varredura (MEV), difração de Raios-X (DRX), espectrometria por fluorescência de Raios-X (FRX) e textura superficial por adsorção de Nitrogênio (BET). A incorporação do RCD nas misturas asfálticas deu-se entre as frações passantes nas peneiras 2,2 a 0,075 mm, tendo sido testadas três variações percentuais (7 %, 15 % e 30 %), as quais foram comparadas às formulações de referência compostas por granulares britados de rocha gnáissica, obtidos de uma jazida em Joinville/SC. O ligante betuminoso usado foi o CAP 30/45, proveniente de uma refinaria no Paraná. Os parâmetros de dosagem das misturas asfálticas foram determinados usando a metodologia Marshall. Avaliações complementares das dosagens potenciais de trabalho indicadas pelo método Marshall foram efetuadas com a verificação da resistência à ruptura por tração indireta e resistência à ação da água no ensaio de Duriez a 18 °C. Os resultados obtidos indicam que apesar das partículas do RCD estudadas possuírem macrotextura subangular e microtextura rugosa, dispõem de porosidade e superfície específica quase três vezes maiores que as frações de rocha britada e pouca afinidade elétrica com o ligante betuminoso, contribuindo para o aporte de maiores teores de ligante nas dosagens e menor resistência mecânica das formulações, além de gerar superfícies com textura menos rugosa, em comparação às misturas asfálticas de referência.

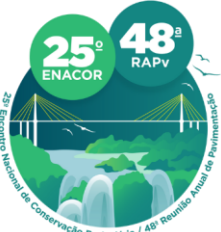
**PALAVRAS-CHAVE:** resíduo de construção e demolição; mistura asfáltica; caracterização; dosagem.

#### ABSTRACT

The objective of this work is to evaluate the dosing parameters of dense asphalt mixtures with the incorporation of construction and demolition waste (CDW). The granulometric curves were established through the rational method, using the Füller-Talbot equations. Asphalt mixtures are dense, with maximum diameter of 12.7 mm and binder content dosings between 4.86 % and 7.42 %. The characterization of RCD was carried out in analysis by scanning electron microscopy (SEM), X-ray diffraction (DRX), X-ray fluorescence spectrometry (FRX) and surface texture by nitrogen adsorption (BET). The incorporation of CDW in the asphalt mixtures took place between the fractions passing through the 2.2 to 0.075 mm sieves, with three percentage variations (7 %, 15 % and 30 %) being tested, which were compared to the reference formulations composed of crushed granular of gneiss rock, obtained from a deposit in Joinville/SC. The bituminous binder used was CAP 30/45, from a refinery in Paraná. The dosage parameters of the asphalt mixtures were determined using the Marshall methodology. Complementary evaluations of the potential work dosages indicated by the Marshall method were carried out with the verification of the resistance to rupture by indirect traction, resistance to the action of water in the Duriez test at 18 °C. The results obtained indicate that although the RCD particles studied have a subangular macrotexture and a rough microtexture, they have a porosity and specific surface almost three times greater than the crushed rock fractions and little electrical affinity with the bituminous binder, contributing to the contribution of higher levels of binder in the dosages and lower mechanical resistance of the formulations, in addition to generating surfaces with a less rough texture, compared to the reference asphalt mixtures.

**KEY WORDS:** construction and demolition waste; asphalt mixes; characterization; dosing parameters.

<sup>1</sup> Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC/Joinville), e-mail: rafael.c.fronza@gmail.com; breno.barra@ufsc.br; alexandre.mikowski@ufsc.br; yagcivil@gmail.com



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



## INTRODUÇÃO

A construção civil brasileira tem alcançado um patamar de notoriedade em várias circunstâncias econômicas e sociais nos últimos anos. Essa atividade tem boa representatividade no PIB do país e efeitos relevantes na empregabilidade (AZEVEDO *et al.*, 2011). Em 2018, o setor representou 8,8 % do PIB, sendo que a cadeia produtiva da construção empregou mais de 10 milhões de pessoas (CONSTRUBUSINESS, 2019). Entretanto, engloba uma cadeia de serviços que mais consome recursos naturais, entre 20 % a 50 % das extrações totais realizadas (BRASILEIRO; MATOS, 2015). Em nível global, cerca de 60 % da matéria-prima extraída é usada nesse ramo (BRIBIÁN; CAPILLA; USÓN, 2011). Neste contexto, tem-se que o RCD compõe entre 41 % a 70 % dos resíduos sólidos urbanos (PINTO, 1999).

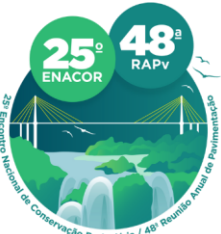
O RCD é gerado durante as construções, reformas e demolições, contendo diversos materiais utilizados em obra, como: argamassa, concreto, tijolo, cerâmica, gesso e outros. No que diz respeito ao quantitativo, de acordo com relatórios da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), apenas em 2018 foram coletadas 122.012 t/dia de RCD (ABRELPE, 2018). O mesmo documento destaca que o montante mencionado não representa a totalidade, a qual é historicamente subnotificada, pois o recolhimento registrado ocorre na maior parte dos casos em obras que são de responsabilidade municipal ou a partir de lançamentos/descartes realizados em terrenos públicos. A geração de resíduo pode variar entre 230 e 760 kg/habitante/ano, conforme a região e o seu desenvolvimento econômico (PINTO, 1999). Diante deste cenário, o RCD gerado é passível de ser reaproveitado em vários processos produtivos de insumos e construtivos, como tijolos, blocos de concreto e nas obras de pavimentação (BRASILEIRO; MATOS, 2015). O RCD pode ser utilizado na composição de camadas de sub-base, base e mesmo nas misturas asfálticas (QUIÑONES, 2014), considerando que cerca de 95 % do peso destes materiais é proveniente do arranjo granulométrico (HUANG; BIRD; HEIDRICH, 2007).

Outro aspecto favorável à reutilização do RCD para minimizar a extração de matéria-prima, é a distância média de transporte entre as jazidas e a localização das obras em alguns casos (MELO, 2010). Para tanto, pode-se citar os exemplos das cidades de Brasília e Manaus, que não dispõem de jazidas próximas aos centros urbanos, o que aumenta consideravelmente o custo dos serviços executados, podendo até mesmo inviabilizar a realização de algumas obras. Belém também enfrenta esta problemática (BARRA, 2005).

A maior parte do PIB circula pelas estradas federais e estaduais, porém, tem-se que do total de 1.720.700 km, apenas 12,4% (108.863 km) são pavimentadas. Ainda, deste total pavimentado, compreendendo a malha federal e trechos estaduais, foi constatado que apenas 41 % dos pavimentos se enquadravam no conceito bom e ótimo quanto ao estado geral (CNT, 2019).

Portanto, além de se perceber a potencialidade do uso do RCD na área de pavimentação, resultados auspiciosos têm sido descritos por Delongui (2012), Melo (2010), Queiroz (2019), Quiñones (2014) e Silva (2009), assinalando a relevância de avaliar os parâmetros de dosagem de misturas asfálticas que o incorporam em suas composições.

Com o intuito de contribuir acerca das discussões sobre soluções sustentáveis para o reaproveitamento de resíduos gerados em obras de construção civil, este trabalho propõe o uso do RCD na formulação de misturas asfálticas densas do tipo *Béton Bitumineux Semi-Grenus* (BBSG), em substituição parcial às frações granulométricas oriundas de rocha sã britada, com foco nos impactos ocasionados aos parâmetros de dosagem, bem como na viabilidade técnica de sua utilização em obras de pavimentação.



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



## MATERIAIS

O material pétreo foi coletado de uma pedreira na região de Joinville/SC, onde o maciço rochoso é de origem gnáissica. A caracterização é apresentada na Tabela 1, oriunda da pesquisa previamente executada por Fagundes (2020), a qual utilizou frações granulares do mesmo lote deste trabalho.

Tabela 1. Caracterização do material pétreo (FAGUNDES, 2020).

Ensaio	Norma	Resultado	Limite
Desgaste por abrasão Los Angeles	DNER-ME 035/98 e DNER-ME 37/97	17,50%	≤ 50%
Índice de Forma	ABNT NBR 7809/2006	0,6	≥ 0,5
Resistência ao ataque químico (Durabilidade)	DNER-ME 089/94 e DNER-ME 37/97	5,30%	≤ 12%
Adesividade ao agregado graúdo	DNER-ME 78/94	Má	-
Equivalência de areia	DNER-ME 54/97	78%	-
Teor de material pulverulento	DNER-ME 266/97 e DNER-ME 37/97	0,4	≤ 1,0%
Absorção	ABNT NBR 7211/2009	0,50%	-
Massa específica real	ABNT NBR NM 53/2009	2,67 g/cm <sup>3</sup>	-

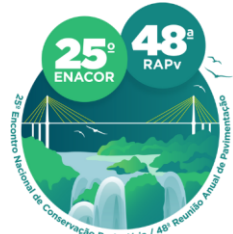
O ligante betuminoso foi classificado por penetração como 30/45, em sua forma pura, proveniente de refinaria localizada em Paulínia/SP. A Tabela 2 apresenta os resultados da caracterização do material, em que o ensaio de viscosidade Saybolt-Furol indicou a temperatura de usinagem em 155 °C e 145 °C para compactação, tendo sido adotado 168 °C para aquecimentos dos granulares (CLARA, 2020).

Tabela 2. Caracterização do ligante betuminoso 30/45 (FRONZA, 2022).

Características	Método	Resultado	Especificação	Unidade
Penetração	D 5	34	30 a 45	0,1 mm
Ponto de amolecimento	D 36	53,5	52, mín.	°C
Ductibilidade a 25°C	D 113	> 150	60, mín.	% massa
Solubilidade no tricloroetileno	D 2042	99,9	99,5, mín.	% massa
Ponto de fulgor	D 92	352	235, mín.	°C
Índice de susceptibilidade térmica	X 18	-1,2	-1,5 a +0,7	-
Densidade relativa a 24°C	D 70	1,01	-	g/cm <sup>3</sup>
Aquecimento a 177°C	X 215	Não espuma	Não espuma	-

O RCD é oriundo de resíduos descartados em obras durante a construção, reforma ou demolição. Apresenta muita variabilidade em sua composição, pois as proporções entre materiais cerâmicos ou cimentícios varia conforme a natureza da obra (DELONGUI, 2002). O RCD utilizado foi enquadrado como Classe A, conforme a Resolução N° 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Ato contínuo, foi submetido à análise granulométrica, tendo sido constatado que as frações mais representativas se encontravam passantes à peneira de 2,2 mm. Além disso, verificou-se que as frações maiores apresentavam friabilidade elevada, devido às fissurações impostas pelo processo de demolição (DELONGUI, 2012; MELO, 2012; SILVA, 2009). Ainda, diversas análises de caracterização foram realizadas com o RCD, a saber: microscopia eletrônica de varredura (MEV), difração de Raios-X (DRX), espectrometria por fluorescência de Raios-X (FRX) e textura superficial por adsorção de Nitrogênio (BET).

A partir das imagens obtidas pelo MEV, foi constatado que o RCD possui macrotextura subangular e microtextura rugosa, enquanto a DRX indicou existência de picos de quartzo (SiO<sub>2</sub>) e calcita



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



(CaCO<sub>3</sub>), e a FRX apresentou a sílica (SiO<sub>2</sub>) como elemento preponderante. No ensaio BET, o RCD apresentou uma superfície específica quase três vezes maior que a rocha gnáissica. A Figura 1 e a Tabela 3 ilustra e apresenta, respectivamente, os resultados obtidos nas análises.

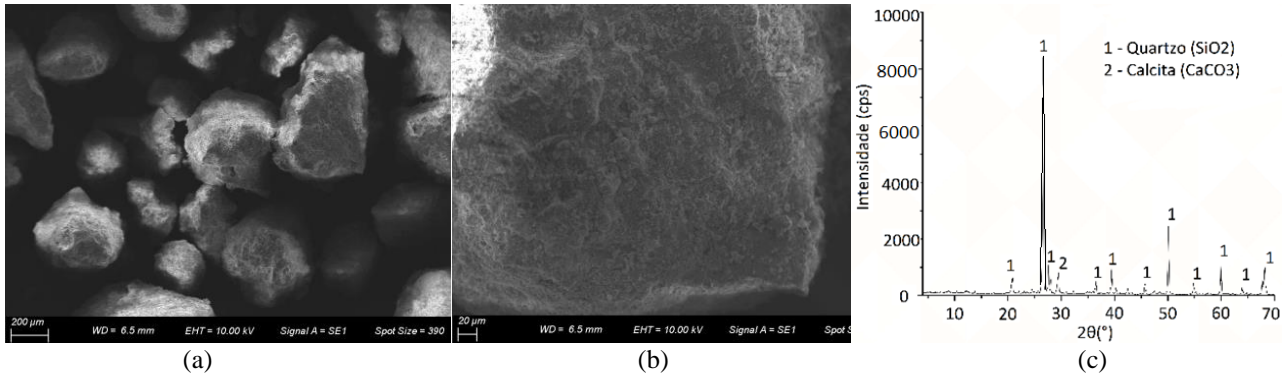


Figura 1. (a) macrot textura subangular, (b) microtextura rugosa e (c) difratograma do RCD (FRONZA, 2022).

Tabela 3. Composição química e análise textural do RCD (FRONZA, 2022).

FRX		BET		
Elementos	Teor (%)	Área Superficial	Volumes de Poros	Raio Médio dos Poros
SiO <sub>2</sub>	62,032			
CaO	16,849	7,990 m <sup>2</sup> /g	0,03463 cm <sup>3</sup> /g	86,69 Å
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,736			
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,665			
MgO	1,848	3,052 m <sup>2</sup> /g	0,01285 cm <sup>3</sup> /g	84,20 Å
K <sub>2</sub> O	1,611	SiO <sub>2</sub>		53,602 %
SO <sub>3</sub>	0,809	-	-	-
TiO <sub>2</sub>	0,754	-	-	-
Outros	0,219	-	-	-
PF	0,480	-	-	-
<b>Total</b>	<b>100,0</b>	-	-	-

## MÉTODOS

As curvas granulométricas foram calculadas utilizando o método racional, com o uso das Equações 1 e 2 de Fuller-Talbot, tornando possível estabelecer o controle individual de cada fração, bem como o preenchimento gradual dos vazios formados.

$$\%p = 100 \left( \frac{d}{D} \right)^n \quad (1)$$

$$n = \frac{\log(\%p_i) - \log(100)}{\log\left(\frac{0,075}{D}\right)} \quad (2)$$

Onde:

$\%p$ : percentagem em peso que passa em uma dada peneira da série escolhida;

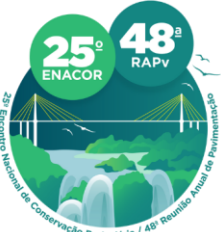
$d$ : abertura de uma dada peneira (mm);

$D$ : tamanho máximo, abertura da peneira que passa 100% (mm);

$n$ : expoente de graduação;

$\%p_i$ : percentagem em peso que passa na peneira de menor diâmetro (0,075 mm);

$D$ : tamanho máximo, abertura da peneira que passa 100% (mm).



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



A curva granulométrica escolhida é do tipo BBSG, com diâmetro máximo de 12,7 mm e 7 % passante na peneira de 0,075 mm. Com o valor de  $n$  igual a 0,52, é classificada como de graduação densa (DNIT, 2006). A substituição por RCD se deu a partir de três teores: 7 %, 15 % e 30 %. Para o teor de 7 %, a substituição ocorreu na totalidade da fração passante na peneira de 0,075 mm; para 15 %, compreendeu todas as frações passantes na peneira de 0,30 mm, e; para 30%, todas as frações passantes na peneira 2,2 mm, totalizando 4 formulações distintas, contando com a de referência. A Tabela 4 apresenta e a Figura 2 ilustra a curva granulométrica proposta, com os respectivos pontos de controle indicados pela metodologia francesa (MANUEL LPC, 2007).

Tabela 4. Composição granulométrica.

Abertura (mm)	% Passante	% Retido
12,7	100,0	-
9,5	74,0	26,0
6,3	57,0	17,0
4,76	50,0	7,0
2,2	34,0	16,0
1,2	26,0	8,0
0,6	20,6	5,4
0,3	14,4	6,2
0,15	10,0	4,4
0,075	7,0	3,0
-	-	7,0

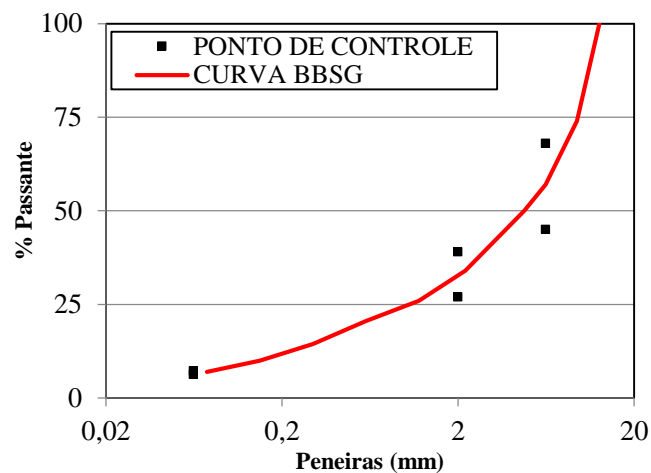


Figura 2. Representação gráfica da curva granulométrica.

## PROCEDIMENTOS LABORATORIAIS

Para determinar a dosagem de trabalho do ligante betuminoso em cada mistura asfáltica, foi aplicada a metodologia Marshall (DNER-ME 043, 1995). Assim, as 4 formulações estabelecidas tiveram os seguintes teores de ligante estudados:

- Referência: 4,22 %, 4,54 %, 4,86 %, 5,18 % e 5,50 %;
- 7% RCD: 4,86 %, 5,18 %, 5,50 %, 5,82 % e 6,14 %;
- 15% RCD: 4,54 %, 4,86 %, 5,18 %, 5,50 %, 5,82 %, 6,14 % e 6,46 %;
- 30% RCD: 5,50 %, 5,82 %, 6,14 %, 6,46 %, 6,78 %, 7,10 % e 7,42 %.

A partir da série de teores de ligante definidos, foram determinadas também a massa volumétrica real (MVR) das misturas asfálticas, a partir do procedimento à vácuo (AFNOR NF EN 12697-5, 2019). Também, foram analisados os parâmetros da metodologia Marshall, como: massa volumétrica aparente (MVA), estabilidade, fluência, teor de vazios (%V) e relação betume-vazios (%RBV). De posse das dosagens de ligante com potencial para aplicação nas formulações de misturas asfálticas, cinco corpos de prova de cada dosagem foram submetidos ao ensaio de resistência à tração indireta (DNIT-ME 136, 2018). De forma complementar, foram realizadas análises referentes à resistência à ação deletéria da água das misturas asfálticas, a partir do ensaio Duriez a 18 °C, com doze corpos e prova em cada dosagem (AFNOR NF EN 12697-12, 2018) selecionada nos ensaios de tração indireta. A Figura 3 ilustra uma visão geral dos ensaios realizados.

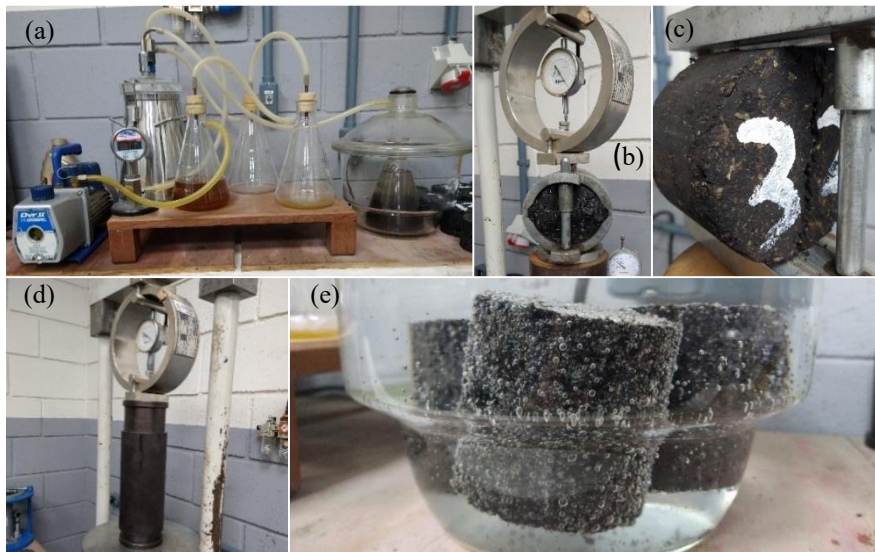


Figura 3. Visão geral dos ensaios (a) MVR; (b) Marshall; (c) tração indireta; (d) e (e) Duriez a 18 °C (FRONZA, 2022).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 4 são ilustrados os resultados obtidos para o ensaio de MVR, em que houve a indicação de uma tendência linear e decrescente em todos os casos, devido ao aumento gradual do teor de ligante. Ainda, quanto maior o teor de RCD incorporado, maior a superfície específica das misturas asfálticas, contribuindo para maiores aportes de ligante betuminoso nas dosagens, diminuindo o valor das MVR.

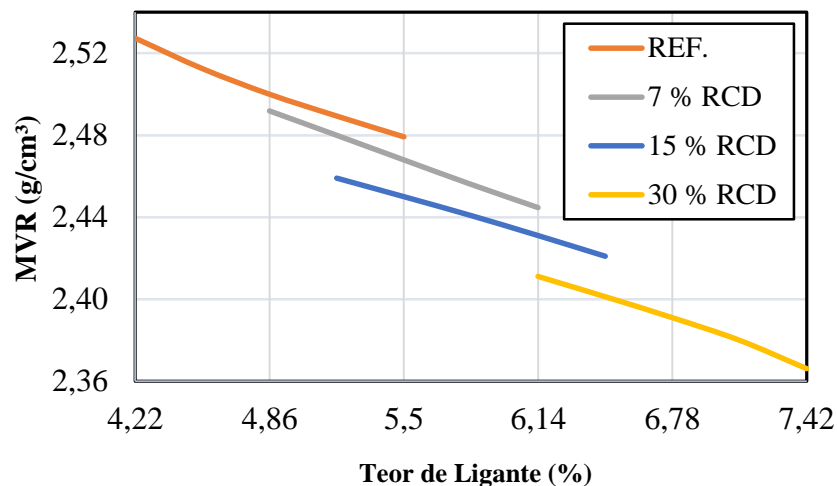
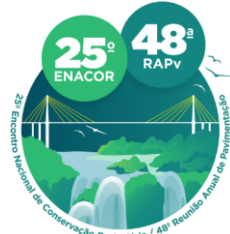


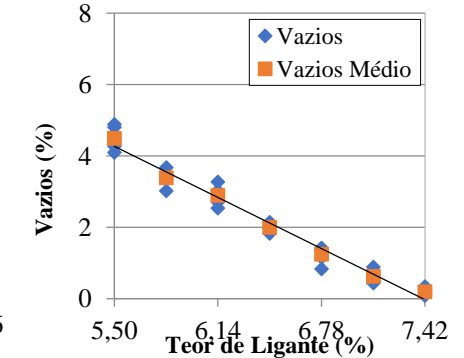
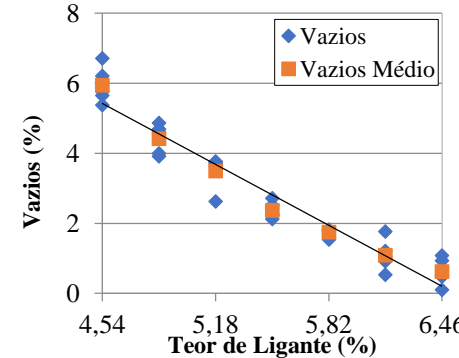
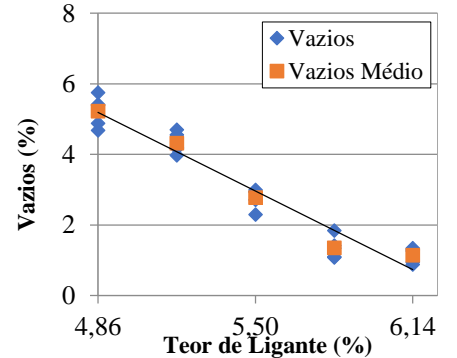
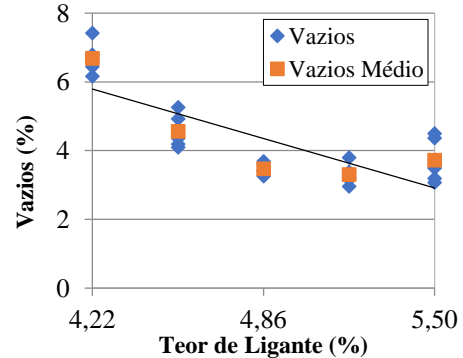
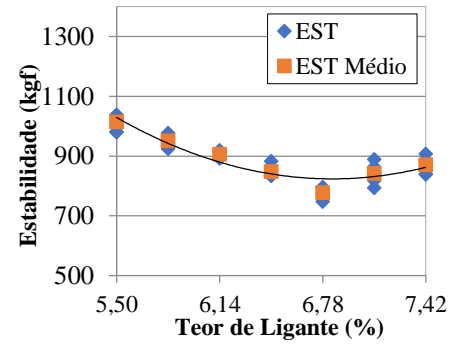
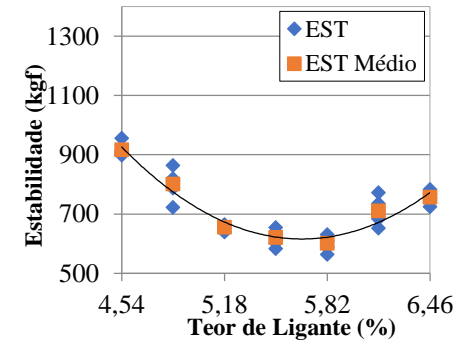
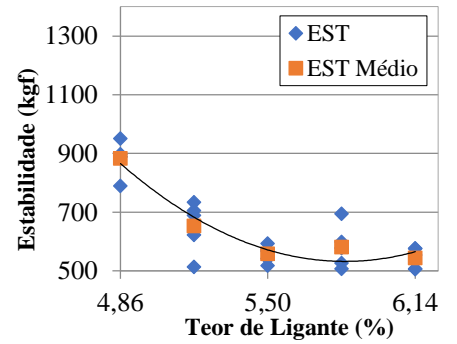
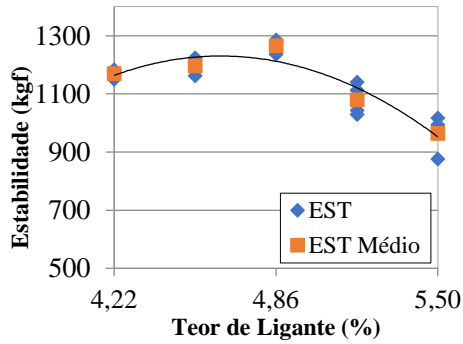
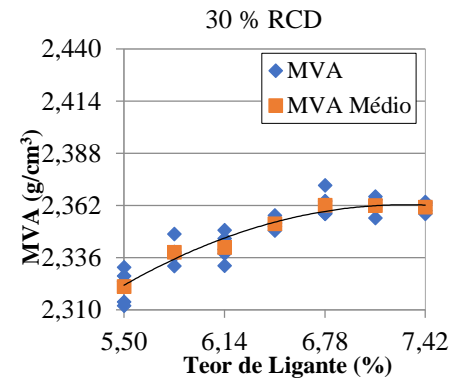
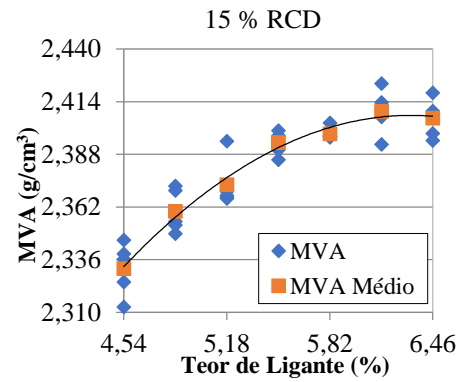
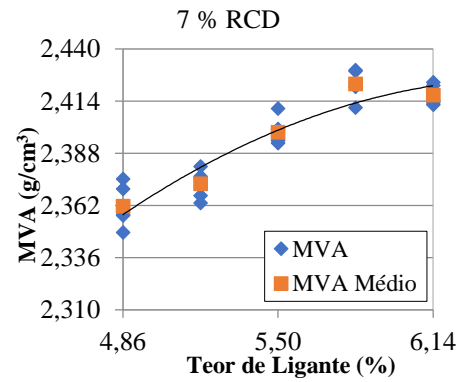
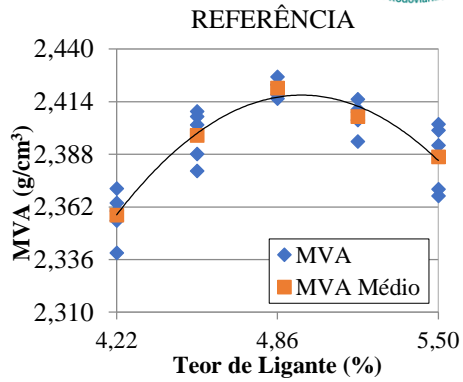
Figura 4. Resultados do ensaio de MVR (FRONZA, 2022).

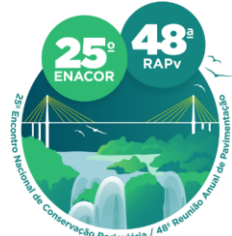
Na Figura 5 são ilustrados os resultados obtidos no ensaio Marshall. Ao analisá-los, tem-se que a porosidade e a superfície específica foram os parâmetros mais influentes no comportamento dos materiais, pois com valores quase três vezes maiores que os da rocha britada gnáissica (Tabela 3), implicaram em maior absorção de ligante, o que ocasionou redução da MVA, estabilidade e teor de vazios.



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)





19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)

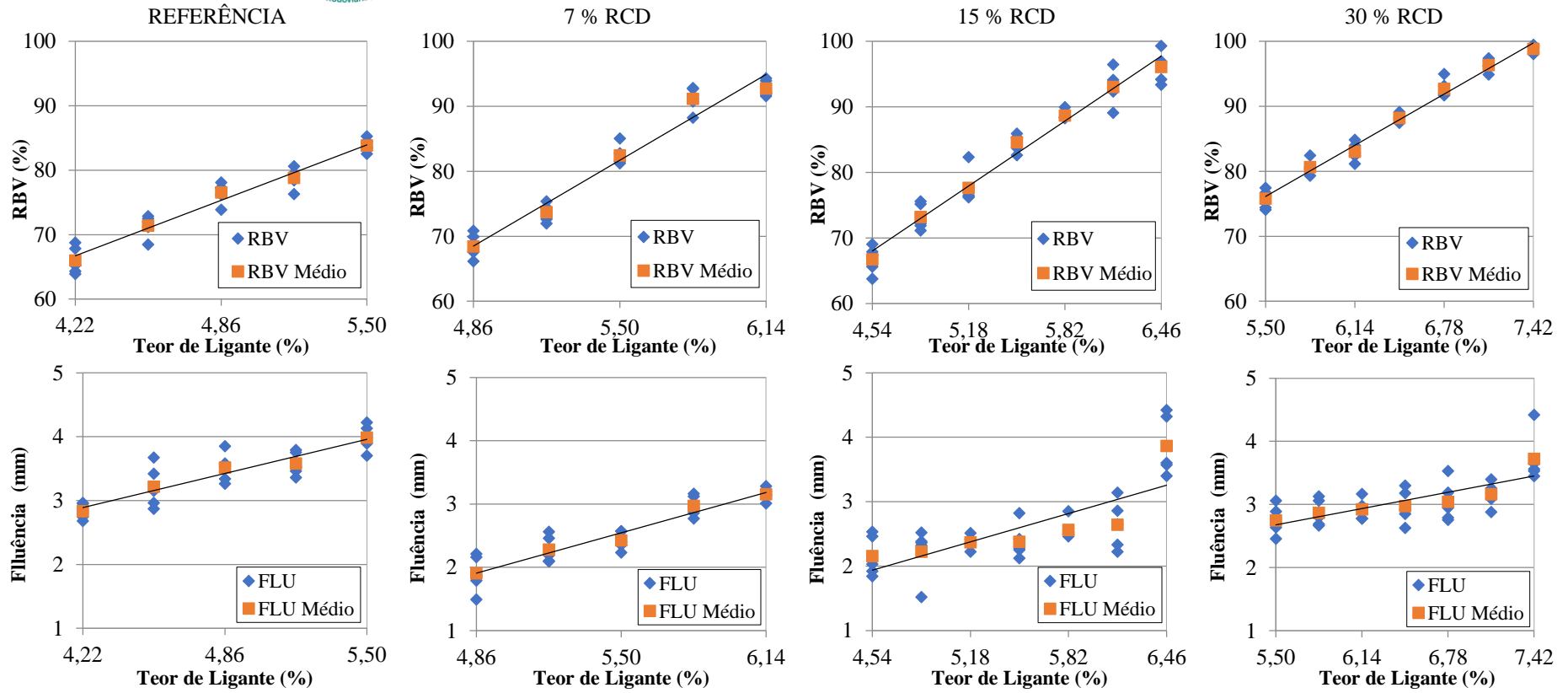
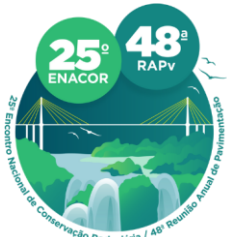


Figura 5. Resultados do ensaio Marshall (FRONZA, 2022).





19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



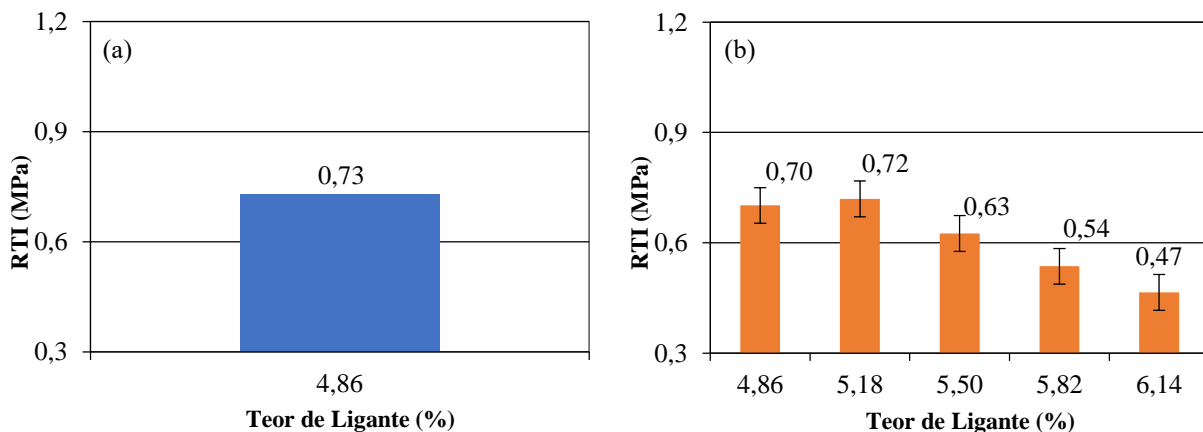
Quanto à estabilidade, verificaram-se trajetórias côncavas atípicas nas misturas asfálticas com incorporação do RCD, em que para os teores mais secos, a resistência das formulações é atribuída ao arranjo granulométrico, enquanto para os teores intermediários ocorre a diminuição gradual da resistência mecânica, em razão da forte redução do volume de vazios e da atuação intensa do ligante betuminoso, elevando o efeito lubrificante interparticular, até atingir valores mínimos de resistência. Contudo, para os percentuais mais elevados das dosagens, nota-se uma retomada do aumento da estabilidade. Porém, esta condição não representa melhora das propriedades mecânicas das misturas asfálticas, pois devido ao excesso de ligante presente e baixo teor de vazios, houve a geração de uma pressão fluidica em resposta aos esforços mecânicos impostos de compressão diametral. Essa constatação é corroborada pelas mesmas tendências observadas nos trabalhos de Silva (2009) e Sena (2018).

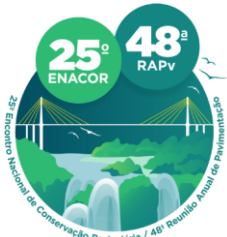
Diante deste cenário, as representações gráficas do ensaio Marshall não permitiram definir de forma acurada qual seriam as dosagens de trabalho para as formulações com presença de RCD, pois levando em conta os limites normativos (DNIT-ES 31, 2006), verificou-se que uma faixa de valores pode ser considerada como potencialmente utilizável em cada caso, condição que não permitiu uma escolha direta deste parâmetro, fato que pode ser decisivo na especificação de uma mistura asfáltica com bom ou mau comportamento mecânico na prática. Com base nos resultados da Figura 5, a Tabela 5 apresenta os teores de ligante de trabalho indicados pela metodologia Marshall como potencialmente utilizáveis em serviços de pavimentação.

Tabela 5 - Faixa de teores de ligante betuminoso indicadas pelo ensaio Marshall.

Mistura Asfáltica	Teores de Ligante
Referência	4,86 % a 5,18 %
7,0 % RCD	5,18 % a 5,50 %
15,0 % RCD	5,18 % a 5,50 %
30,0 % RCD	5,50 % a 6,14 %

Por esta razão, análises complementares de resistência à tração indireta foram realizadas com o intuito de fornecer maiores subsídios técnicos para que as escolhas dos teores de trabalho fossem mais assertivas. Para a mistura de referência, o teor de ligante de trabalho selecionado foi de 4,86 %, tomando como base as pesquisas de Clara (2020) e Siroma (2018) realizadas com a mesma mistura asfáltica BBSG, incluindo granulares e ligante betuminoso provenientes dos mesmos fornecedores ao desta pesquisa. Na Figura 6 são mostrados os resultados médios obtidos nos ensaios.





19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br

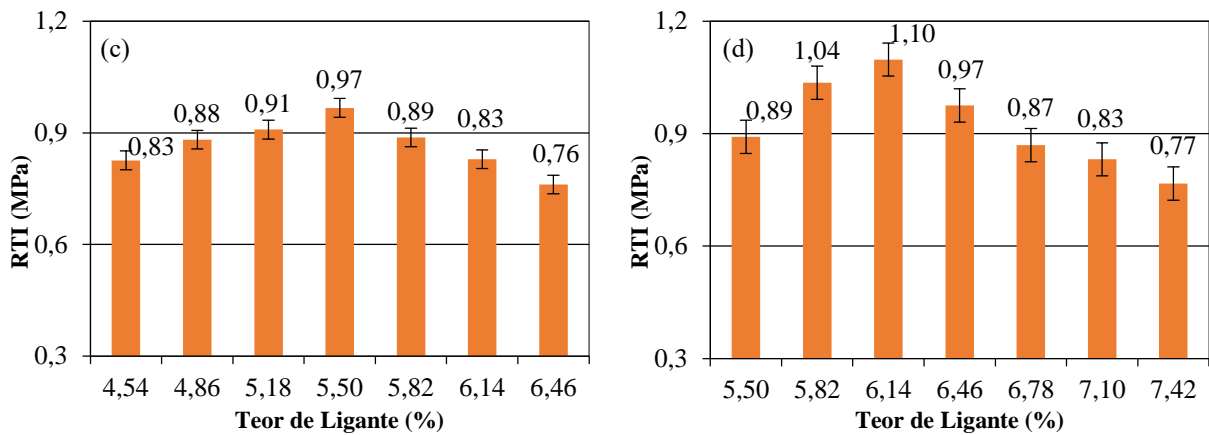


Figura 6. Resultados do ensaio de tração indireta para as misturas asfálticas: (a) referência; (b) 7 % RCD; (c) 15 % RCD e (d) 30 % RCD (FRONZA, 2022).

Neste contexto, tem-se que esta análise foi determinante para descrever melhor o comportamento das misturas asfálticas, pois houve a indicação de valores máximos de resistência para um dado um teor de ligante. Ainda, para as misturas com 15 % e 30 % de RCD, os valores obtidos foram maiores que para a mistura de referência. Contudo, a resistência à tração tem grande influência da efetividade da coesão das partículas, logo, quanto mais ligante betuminoso na dosagem, até o limite em que não ocorra excesso, mais resistente serão as interfaces de contato, em razão da formação de uma película mais robusta no envolvimento das frações granulares.

Portanto, com base nos resultados obtidos, tem-se a definição dos teores de ligante de trabalho na Tabela 6.

Tabela 6 - Teores de ligante de trabalho recomendados após os ensaios de tração indireta (FRONZA, 2022).

MISTURA ASFÁLTICA	TEOR DE LIGANTE (%)
Referência	4,86
7,0 % RCD	5,18
15,0 % RCD	5,50
30,0 % RCD	6,14

No que diz respeito ao ensaio de Duriez, foram escolhidas as dosagens com maior resistência à tração indireta (Tabela 6) para análise, em que os resultados são ilustrados na Figura 7.

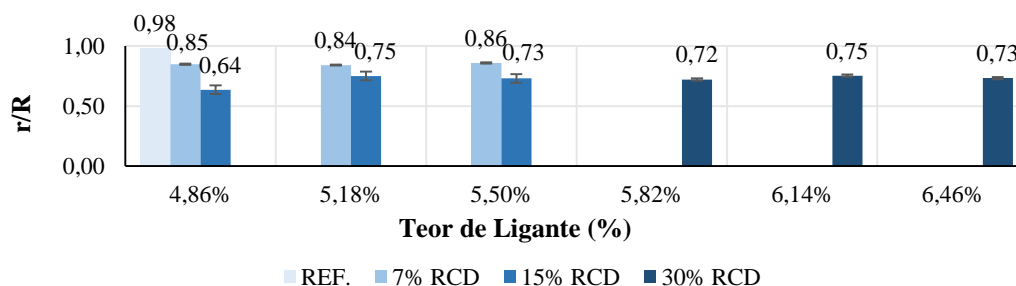
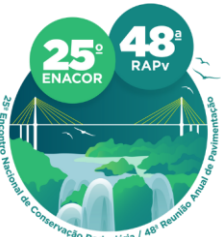


Figura 7. Gráfico da relação  $r/R$  para ensaio de Duriez (FRONZA, 2022).

Tem-se, portanto, que a mistura de referência foi a que mais resistiu à ação deletéria da água. Essa condição é explicada pelo fato de a composição química da rocha gnáissica ter menos sílica (Tabela 3) em relação à composição do RCD, causando menor repelência entre os granulares e o ligante betuminoso, aliada à elevada porosidade e superfície específica das partículas do RCD estudado, que



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



as tornam menos resistentes aos esforços de compressão simples aplicados, em relação aos arranjos granulares de rocha britada.

Ressalta-se que o limite indicado para relação  $r/R$  é no máximo 0,70 (MANUEL LPC, 2007), situação que reprova a mistura com 4,86 % de ligante com incorporação de 15 % de RCD. Entretanto, deve-se atentar ao fato dos valores da relação  $r/R$  obtidas para as misturas com RCD estarem sempre mais próximo do limite de 0,70 quando comparados à mistura de referência, indicado ser um material bem suscetível à ação deletéria da água.

## CONCLUSÕES

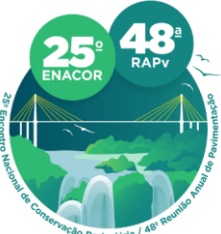
Com base nos resultados obtidos, foi possível avaliar de maneira global os parâmetros de dosagem e o comportamento mecânico das misturas asfálticas com RCD. A caracterização evidenciou que o RCD utilizado possui elevado percentual de sílica, porosidade e superfície específica, devido ser proveniente de uma estrutura pré-moldada com tijolos cerâmicos à vista.

Mesmo as partículas do RCD possuindo macrotextura subangular e microtextura rugosa, a porosidade e superfície específica elevadas contribuíram de forma decisiva para que as misturas asfálticas com requeressem maior consumo de ligante, resultando em uma resistência mecânica bem menor que a mistura de referência. Tais aspectos ficaram bem evidenciados no parâmetro de estabilidade Marshall, resistência à tração indireta e na compressão simples no ensaio de Duriez.

Devido à impossibilidade de se estabelecer um teor de trabalho acurado no ensaio Marshall, a resistência a tração indireta foi parâmetro fundamental para a escolha das dosagens recomendadas. Verifica-se, portanto, que o RCD utilizado neste trabalho não apresenta viabilidade técnica suficiente para incorporação em formulações de misturas asfálticas, devido às deficiências já discutidas no âmbito científico, e mesmo no aspecto econômico, por demandar maiores consumos de ligante betuminoso nas dosagens de trabalho, ou seja, o insumo mais oneroso da composição das misturas asfálticas, quando comparados às formulações de referência.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (2019). Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2018/2019. São Paulo: Abrelpe.
- AZEVEDO, R. C.; ENSSLIN, L.; LACERDA, R. T. de O.; FRANÇA, L. A.; GONZÁLEZ, C; J. I.; JUNGLES, A. E.; ENSSLIN, S. R (2011). Avaliação de desempenho do processo de orçamento: estudo de caso em uma obra de construção civil. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 11, n. 1, p. 85-104, mar.
- BARRA, B. S (2005). Avaliação do desempenho mecânico de misturas asfálticas utilizando materiais do estado do Pará com o emprego de pó calcário. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) -Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.
- BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E (2015). Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. Cerâmica, v. 61, n. 358, p. 178-189, jun.
- BRIBIÁN, I. Z.; CAPILLA, A. V.; USÓN, A. A (2011). Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential. Building and Environment, vol. 46, p. 1133–1140. mai.
- CLARA, E (2020). Avaliação de misturas asfálticas densas com a incorporação de cinza de carvão mineral. 2020. 164 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências Mecânicas) – Centro Tecnológico de Joinville, Universidade Federal de Santa Catarina. Joinville.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (2019). Pesquisa de Rodovias CNT. Brasília: CNT.



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



CONSTRUBISINESS (2021). Obras paradas: desperdício de recursos e futuro. In: 13º CONGRESSO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO. 140 p. São Paulo: Federação das Indústrias do Estado de São Paulo, 2019. Disponível em: <https://www.fiesp.com.br/observatoriodaconstrucao/congresso-brasileiro-da-construcao/>. Acesso em: 30 abr. 2021.

DELONGUI, L (2012). Caracterização e adequação dos resíduos da construção civil produzidos no município de Santa Maria - RS para aplicação em pavimentação. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). DNER - ME 043/95. Misturas betuminosas a quente - ensaio Marshall. Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR), Rio de Janeiro, RJ. 1995, 11 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). DNIT ES 031/2006: Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviços. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR), Rio de Janeiro, RJ. 2006, 14 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). DNIT - ME 136/2018 (2018). Pavimentação asfáltica – Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR), Rio de Janeiro, RJ. 2018, 9 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). Manual de Pavimentação. 3. ed. Rio de Janeiro. Publicação Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR) - 719.2006.

FAGUNDES, P. M. (2020), Avaliação do Comportamento Funcional de Misturas Asfálticas do Tipo BBDr e BBTM. Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Mecânicas (Pós-ECM) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), 136 p. Joinville, SC.

FRONZA, R. C. (2022). Avaliação comparativa dos parâmetros de dosagem de misturas asfálticas densas com a incorporação de resíduo de construção e demolição. 81 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil de Infraestrutura, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville.

GUIDE TECHNIQUE (1994). Conception et dimensionnement des structures des chaussées. Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA) et Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC). Paris, France.

HUANG, Y.; BIRD, R. N.; HEIDRICH, O. (2007). A review of the use of recycled solid waste materials in asphalt pavements. Resources, Conservation and Recycling, Reino Unido, v. 52, n. 11, p. 58-73, fev.

MANUEL LPC (2007), Manuel LPC d'aide à la formulation des enrobés. Groupe de Travail RST. "Formulation des enrobés". 199 p. Laboratoire Central des Ponts et Chaussées. Paris, France.

MELO, D. M (2010). Estudo de misturas asfálticas com resíduo de construção e demolição oriundo do município de Manaus - AM. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Tecnologia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus.

PINTO, T. P (1999). Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

QUEIROZ, M. L. N (2019). Aplicação de concreto asfáltico a quente utilizando resíduos da construção e demolição de obras (RCD) em via urbana na cidade de Natal/RN. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

QUIÑONES, F. S (2014). Aplicabilidade de resíduos reciclados da construção e demolição como agregados em misturas asfálticas. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília.

SILVA, C. A. R (2009). Estudo do agregado reciclado de construção civil em misturas betuminosas para vias urbanas. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geotécnica) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

SIROMA, R. S. (2018), Avaliação Da Deformação Permanente Em Misturas Asfálticas Densas Formuladas Com Areia Descartada De Fundação (ADF). Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências Mecânicas) – Programa de Pós-Graduação, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville.