

# ANÁLISE DE AGREGADO RECICLADO DE CONCRETO PARA UTILIZAÇÃO COMO INSUMO PARA CONCRETO COMPACTADO COM ROLO, DESTINADO A BASES DE PAVIMENTOS SEMIRRÍGIDOS

**Hedelvan Emerson Fardin**

Acadêmico do curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Estado de Santa Catarina

hedelvan@gmail.com

**Caroline da Silva**

Acadêmica do curso de Engenharia Civil da Universidade do Estado de Santa Catarina

carolinedasilv4@gmail.com

**Adriana Goulart dos Santos**

Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Estado de Santa Catarina

adriana.santos@udesc.br

**Resumo.** *A necessidade de se encontrar materiais alternativos, capazes de substituir agregados naturais, para a produção de concreto é fundamental, pois cada vez está mais difícil de abrir novas jazidas, devidos às restrições ambientais. Nessa perspectiva, foi realizada uma análise da possibilidade de utilizar Agregado Reciclado de Concreto (ARC) como insumo para Concreto Compactado com Rolo (CCR). Foram realizados os seguintes ensaios para caracterização do resíduo: análise granulométrica; determinação da massa específica e absorção de água; determinação da composição dos agregados reciclados graúdos por análise visual; abrasão “Los Angeles”; e índice de forma pelo método do paquímetro. Os resultados obtidos sugerem possível emprego do ARC, em comparação a outros agregados, como material de insumo para CCR.*

**Palavras-chave:** *Agregado reciclado de concreto. Concreto compactado com rolo. Pavimentação.*

## 1. INTRODUÇÃO

A Confederação Nacional do Transporte (CNT) apontou que o modal de transporte rodoviário brasileiro chega a representar 61% da matriz de transportes de cargas e 95% de pessoas, além de que, da totalidade de 1.720.700 km de rodovias brasileiras, somente 12,4% são pavimentadas, 9,1% planejadas e 78,5% não são pavimentadas (CNT, 2018). Isso evidencia a carência de melhoria da infraestrutura da malha rodoviária do país e, conseqüentemente o aumento da demanda de insumos para os projetos de pavimentação.

Considerando-se a obsolescência de essencial melhoria da infraestrutura das rodovias brasileiras, essa pesquisa centra-se no objetivo principal de analisar a aplicabilidade do ARC como agregado graúdo para produção de CCR, destinado à execução de base de pavimentos semirrígidos.

A pesquisa busca aliar o desenvolvimento tecnológico ao desenvolvimento ambiental. Outrossim, a opção de considerar o agregado reciclado para produção de CCR levou em consideração que esse tipo de concreto é menos agressivo ao meio ambiente devido ao seu baixo consumo de cimento (MEHTA e

MONTEIRO, 2008; TOFFOLO, 2015) e, extrapolando essa característica, ele é capaz de receber diversos tipos de adições ou substituições sem grandes perdas das propriedades mecânicas (ANDRADE, 1997; SILVA, 2006; TOFFOLO, 2015).

## **2. CONCRETO COMPACTADO COM ROLO - CCR**

O CCR apresenta consistência seca (sem abatimento no ensaio de tronco de cone), com tal trabalhabilidade que permita a compactação por rolos compressores ou vibratórios (VALENCIA, 1999; DNIT, 2004; MEDINA e MOTTA, 2015), ou seja, para devida consolidação, o CCR deve ser seco o suficiente para suportar o peso do equipamento e úmido o bastante para aceitar que a pasta de cimento seja espalhada uniformemente (ANDRIOLO e SGARBOZA, 1993; NEVILLE e BROOKS, 2010; HARRINGTON *et al.*, 2010; TOFFOLO, 2015).

Os materiais constituintes do CCR não diferem daqueles empregados na produção de concreto convencional, sendo utilizados, portanto, o agregado, a água e o cimento Portland, podendo, eventualmente ser utilizado um aditivo ou alguma adição (VALENCIA, 1999; SENÇO, 2008; MEHTA e MONTEIRO, 2008).

A porcentagem de agregados, em volume, na mistura de CCR, está próxima a 80% (VALENCIA, 1999; HARRINGTON *et al.*, 2010; RAO *et al.*, 2016), sendo, portanto, a matéria-prima mais consumida para execução desse tipo de concreto.

Para dosagem do CCR, o método de compactação dos solos é de comum aplicação em projetos de pavimentação nos Estados Unidos da América (EUA) (HARRINGTON *et al.*, 2010; CHHORN, HONG e LEE, 2017) e seu emprego despreza o conceito convencional de reduzir o fator água/cimento do concreto para se obter maior ganho de

resistência à compressão, haja vista que essa propriedade do material em seu estado endurecido será alcançada em decorrência da compactação da mistura no estado fresco (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Esse método consiste, sequencialmente, em: escolher uma distribuição granulométrica adequada dos agregados; selecionar o consumo de cimento da mistura; determinar a umidade ótima e a densidade seca máxima da mistura; selecionar amostras para aferir a resistência à compressão; e por fim, calcular as proporções de insumos para mistura (HARRINGTON *et al.*, 2010). Essa metodologia assemelha-se àquela proposta por Trichês (1993), a qual foi também adotada nas pesquisas de Abreu (2002), Ricci (2007), Pinto (2010), Toffolo (2015) e Borré (2017).

## **3. AGREGADOS RECICLADOS DE CONCRETO - ARC**

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2004a) através da NBR 15115 e da Resolução nº 307 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA, 2002) classificou os resíduos da construção civil como classe A e delimitou-os como resíduos provenientes de construções, reformas, reparos ou demolições de obras da construção civil.

Agregados provenientes de Resíduos da Construção e Demolição (RCD) apresentam utilização viável para pavimentação (BALBO, 2007; RICCI, 2007; BERNUCCI *et al.*, 2008), preferencialmente como agregados para bases e sub-bases de pavimentos de baixo a médio volume de tráfego (DELONGUI *et al.*, 2018). Todavia, deve-se tomar cuidado com a porosidade desses materiais, porque isso tende a aumentar a demanda de água para se alcançar a umidade ótima de compactação. Ademais isso também pode requerer um maior consumo de cimento para se alcançar as resistências de projeto para o CCR (BALBO,

2007). Sendo assim, é notório que a porosidade em si, reduz a resistência mecânica dos concretos (RICCI; BALBO, 2007).

Segundo Arulrajah *et al.* (2012) para o resíduo utilizado em seu estudo, foi constatado que devido a suas características geotécnicas, o ARC apresentou índices mínimos para uso em sub-base, no ensaio de Abrasão “Los Angeles”, Índice de Suporte Califórnia (ISC) e ensaio triaxial de cargas repetidas. Em contrapartida, Gabr *et al.* (2013) apontaram que o ARC poderia ser utilizado como material de insumo para execução de camadas de base de pavimentos, quando comparadas as características mecânicas desse agregado com as de outros materiais naturais, entretanto deveria ser observado o Grau de Compactação (GC) igual a 98% e teor de umidade entre 60% e 90% da umidade ótima.

Lopez-Uceda *et al.* (2016) avaliaram mecanicamente o CCR com adição de ARC às taxas de 0%, 50% e 100% em substituição aos agregados graúdos, com consumos de cimento iguais a 110, 175, 250 e 350 kg/m<sup>3</sup>. Foi concluído que a mistura com consumo de cimento igual a 110 kg/m<sup>3</sup> não apresentou propriedades adequadas para aplicações em construções civis. Todavia, a mistura de CCR com consumo de cimento igual a 175 kg/m<sup>3</sup> e substituição de 100% dos agregados naturais por ARC poderia ser utilizada para bases de pavimentos com baixo volume de tráfego de veículos pesados, caso de pavimentos urbanos. Em contrapartida, o CCR com consumo de cimento igual a 250 kg/m<sup>3</sup> e 100% de ARC poderia ser facilmente empregado como insumo para bases de pavimentos com alto volume de tráfego de veículos pesados, exemplo de rodovias.

#### 4. MATERIAIS E MÉTODOS

O ARC analisado foi cedido por uma empresa de Joinville, especializada na reciclagem de Resíduos da Construção Civil

(RCC). O agregado é proveniente da cominuição dos mais diversos tipos de concreto da construção civil, sejam sobras de concreto usinado, sejam resíduos de elementos estruturais ou de pavimentação. As amostras do resíduo foram coletadas na pilha de ARC, disposta no pátio da empresa.

Para a caracterização do resíduo, foram realizados os seguintes ensaios laboratoriais: composição granulométrica, segundo a NBR NM 248 (ABNT, 2003); Índice de forma pelo método do paquímetro, de acordo com a NBR 7809 (ABNT, 2019); determinação da composição dos agregados reciclados graúdos por análise visual, consoante à NBR 15116 (ABNT, 2004b); determinação da absorção de água e da massa específica, segundo a norma rodoviária ME 195 (DNER, 1997a); e ensaio de abrasão “Los Angeles”, conforme a norma ME 035 (DNER, 1998).

Também foram realizadas caracterizações de agregados naturais (areia, brita 0 e brita 1), com o intuito de verificar a possibilidade de utilizá-los para se alcançar um enquadramento à faixa granulométrica sugerida pelo *Portland Cement Association* (PCA), recomendada por Harrington *et al.* (2010).

A areia analisada é comercializada como areia média em Joinville/SC. Esse agregado é proveniente da bacia do rio Cubatão e foi ensaiado quanto à distribuição granulométrica, de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003) e quanto à massa específica, segundo a NBR NM 52 (ABNT, 2009a).

As britas de gnaíse, de origem natural são provenientes de jazidas de Joinville e para sua caracterização foram realizados os ensaios de distribuição granulométrica, segundo a NBR NM 248 (ABNT, 2003), determinação da massa específica, como preconizada a norma ME 095 (DNER, 1997a) e de abrasão “Los Angeles”, segundo a norma ME 035 (DNER, 1998).

Ao final das caracterizações dos materiais, foram realizadas composições

granulométricas dos agregados visando uma adequação da curva granulométrica à faixa sugerida pelo PCA. Foram analisadas 5 composições com diferentes porcentagens dos agregados analisados.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As curvas granulométricas de todos os agregados estão apresentadas na Fig. 1. Ficou evidenciado que o ARC apresentou uma graduação aberta, com Dimensão Máxima ( $D_{m\acute{a}x}$ ) igual a 25 mm e Módulo de Finura (MF) igual a 6,66. A areia apresentou uma curva granulométrica densa, com MF = 2,30 e  $D_{m\acute{a}x}$  = 2,4 mm. Ambas britas apresentaram curvas granulométricas uniformes, contudo a brita 0 possuía MF = 6,24 e  $D_{m\acute{a}x}$  = 12,5 mm, enquanto a brita 1 resultou em MF = 6,98 e  $D_{m\acute{a}x}$  = 19 mm.

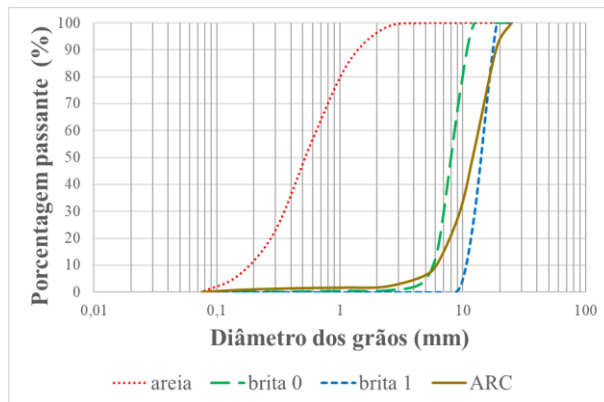


Figura 1. Curvas granulométricas

É comum em pesquisas, delimitar a  $D_{m\acute{a}x}$  do agregado graúdo igual a 19 mm (SACHET, 2012; BORRÉ, 2017) ou igual a 25 mm (RICCI, 2007; PINTO, 2010). Além disso, o DNIT (2004) recomenda que a dimensão máxima característica do agregado não exceda o valor de um terço da espessura do pavimento ou 50 mm, devendo ser adotado o menor valor. A NBR 16312-2 (ABNT, 2014) recomenda que o agregado graúdo seja composto de dimensões máximas características entre 19 mm e 50 mm. Sob

essas limitações, percebe-se que em relação à dimensão máxima característica do ARC, ele facilmente poderia ser empregado como agregado graúdo para produção de CCR, pois encontra-se dentro dos limites normatizados. Outrossim, visando a substituição parcial ou total do agregado natural pelo ARC, poderia se excluir a fração do resíduo retida na peneira de 25 mm e utilizar somente os agregados com dimensão máxima característica igual a 19 mm, como procedeu Borré (2017) em sua pesquisa acerca do estudo de *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) como agregado graúdo para CCR, possibilitando assim, a substituição parcial do agregado natural (britas 0 e 1) pelo RAP.

Quanto ao resultado da determinação da composição do resíduo por análise visual, pode-se determinar que o agregado reciclado era, de fato, um ARC. Isso porque o somatório das frações pertencentes ao grupo 1 (fragmentos com pasta de cimento em 50%) e do grupo 2 (fragmentos de rochas) representavam 92,37% da massa total da amostra ensaiada.

Referente ao ensaio do índice de forma do ARC, observou-se que o comprimento médio dos grãos era igual a 22,77 mm e que a espessura média era igual a 13,63 mm, resultando em um índice de forma igual a 1,69. Isso evidencia a forma predominante cúbica do agregado e sua utilização para concreto, quando não superior a 3 (ABNT, 2009b).

Por fim, a Tabela 1 traz os resultados referentes aos demais ensaios de caracterização dos agregados.

O valor de absorção de água alto já era esperado para o ARC, contudo, outros autores já utilizaram em pesquisas de materiais para pavimentação, agregados com maior absorção de água e alcançaram bons resultados, como nos casos dos estudos de RCD, com 10,6% (RICCI e BALBO, 2009) e 12,2% de absorção de água (LEITE *et al.*, 2011).

Tabela 1. Propriedades dos agregados

Ensaio	Areia	Brita 0	Brita 1	ARC
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,40	2,93	2,72	2,19
Absorção de água (%)	-	0,27	0,20	7,63
Abrasão “Los Angeles”	-	14,15	12,83	32,00

Referente ao ensaio de abrasão “Los Angeles” também se evidencia um resultado de desgaste elevado do ARC em relação aos agregados naturais, o que poderia implicar na não utilização desse agregado. Todavia, Senço (2008) recomendou a utilização de agregados naturais com abrasão “Los Angeles” inferior a 40%, quanto a isso, facilmente poder-se-ia empregar esse ARC como insumo para pavimentação. Além disso, Leite *et al.* (2011) utilizaram, em sua pesquisa, um RCD com abrasão igual a 51,5% e não foram observadas grandes discrepâncias nos resultados de módulo resiliente, ou seja, comparando o RCD com um brita padrão bem graduada, ambos materiais apresentavam comportamento similar. Outrossim, ARC com resultados de abrasão próximos ao alcançado nesta pesquisa também já foram estudados, como exemplo: 25% (COURARD, MICHEL e DELHEZ, 2010), 28% (ARULRAJAH *et al.*, 2012) e 29,4% (LOPEZ-UCEDA *et al.*, 2016).

Com os resultados de caracterização de todos os agregados, buscou-se estabelecer uma mistura de agregados adequada à faixa granulométrica sugerida pelo PCA. Para tanto, foram compostas 5 diferentes misturas com as porcentagens de agregados apresentadas na Tabela 2 e plotadas na Fig. 2.

Tabela 2. Porcentagens de agregados por mistura

Misturas	% agregados			
	Areia	Brita 0	Brita 1	ARC
1	50	0	0	50
2	50	25	25	0
3	45	35	20	0
4	45	12,5	12,5	30
5	45	20	5	30

Como era esperado que somente o ARC não seria capaz de atender à faixa granulométrica sugerida pelo PCA, foi decidido misturá-lo à areia (Mistura 1). Não havendo o atendimento à faixa, optou-se por encontrar uma mistura de agregados naturais capaz de atender à faixa granulométrica (Misturas 2 e 3) e por conseguinte, realizar a substituição dos agregados graúdos pelo ARC (Misturas 4 e 5).

Percebe-se que as Misturas 1 e 2 violaram o limite superior da faixa granulométrica, portanto, não seria recomendado utilizá-las na dosagem de CCR.

Além disso, é perceptível que todas as misturas violam o limite inferior sugerido pelo PCA. Entretanto, Chhorn, Hong e Lee (2017) propuseram um aprimoramento da faixa granulométrica sugerida pelo PCA. Tal sugestão foi decorrente de diversas pesquisas, onde a composição granulométrica total dos agregados para CCR não atendia adequadamente à faixa sugerida pelo PCA e mesmo assim, não se percebia grandes interferências nas propriedades mecânicas do concreto. Portanto, passando a utilizar a sugestão de faixa granulométrica aprimorada por Chhorn, Hong e Lee (2017), as Misturas 3, 4 e 5 não violariam quaisquer limites da faixa, Fig. 3, e poderiam ser empregadas para produção de CCR.

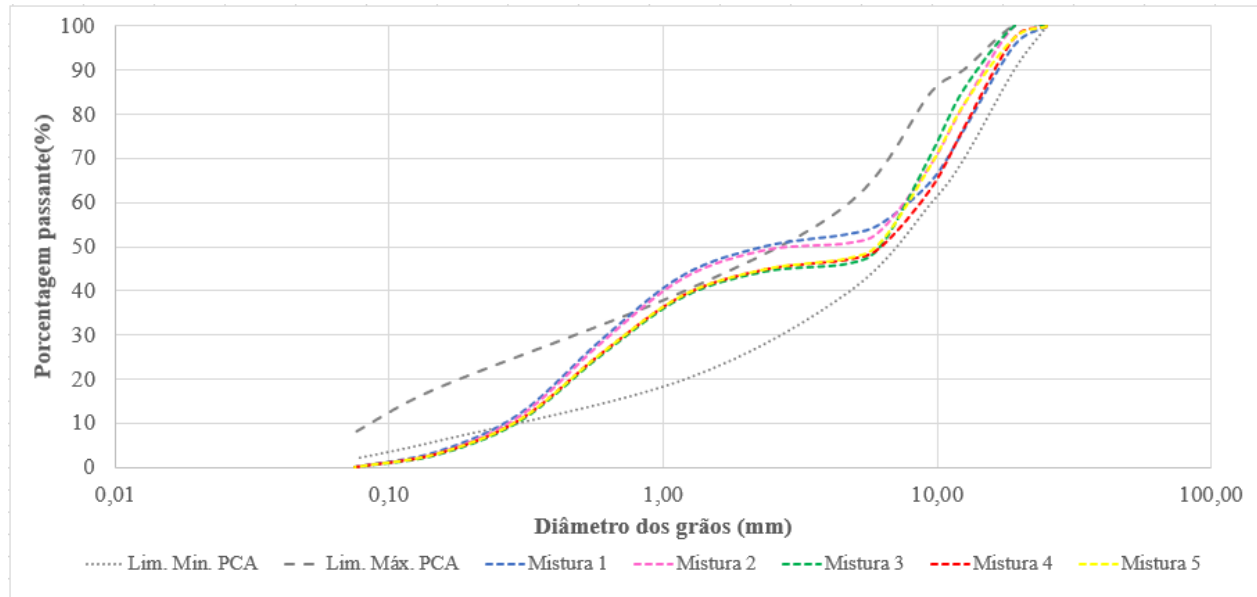


Figura 2. Distribuições granulométricas das misturas

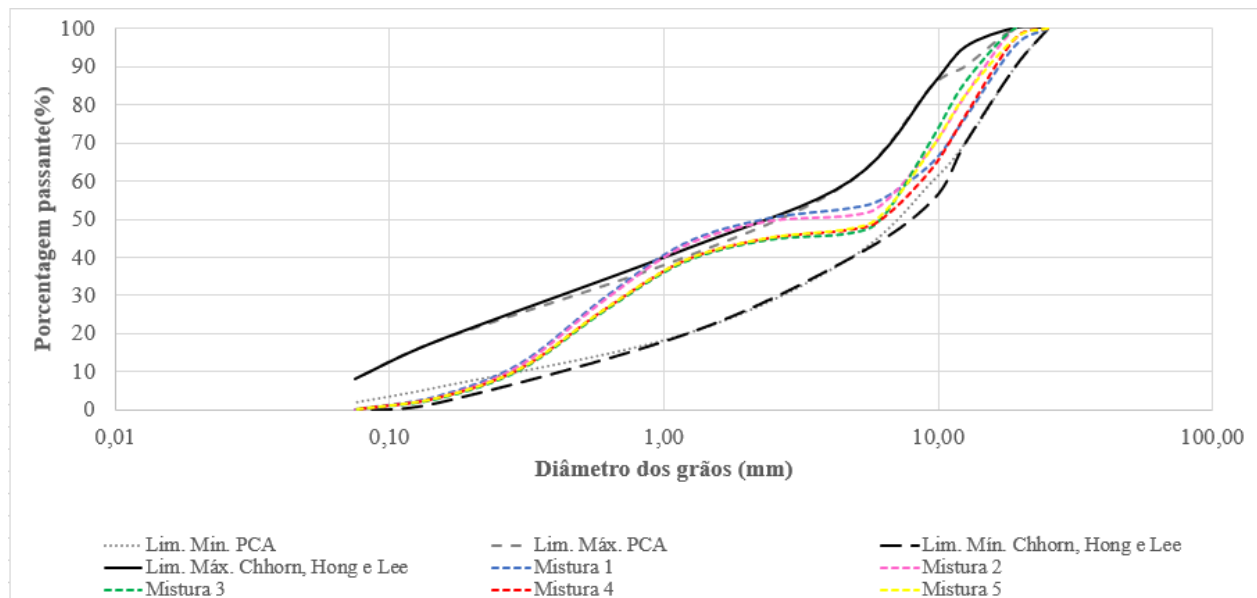


Figura 3. Atendimento à faixa sugerida por Chhorn, Hong e Lee (2017)

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Levando-se em consideração os resultados dos ensaios de caracterização do ARC e, em comparação a outras pesquisas, acerca de agregados para CCR, pode-se identificar a potencial utilização desse resíduo como insumo para produção de CCR. Isso

porque a dimensão máxima dos grãos é igual a 25 mm, estando dentro dos limites normatizados supracitados. Além disso, por essa fração ser pequena, pode-se limitar o diâmetro máximo como sendo igual a 19 mm para poder realizar a correta substituição dos agregados graúdos (britas 0 e 1) por ARC.

Embora a absorção de água do ARC tenha apresentado um alto índice e isso possa vir a ser considerado um entrave para sua utilização, o resultado ainda está aquém de outros agregados já pesquisados para pavimentação. Referente ao resultado de abrasão “Los Angeles”, foi percebido um alto desgaste em relação às britas de origem natural, todavia o resultado do ARC ainda está próximo a outros agregados pesquisados ou até mesmo dentro do limite recomendado pela literatura.

Por fim, ante aos resultados observados, o ARC analisado apresenta potencial utilização como agregado graúdo para produção de CCR. E adotando, a distribuição granulométrica das Misturas 4 ou 5 (sendo a mistura 3 utilizada como CCR de referência), poder-se-ia dar continuidade à dosagem de CCR para verificar o comportamento mecânico do material e o atendimento às normativas para base de pavimentos semirrígidos.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da UDESC, ao apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC) e à empresa Terraplenagem Medeiros pela doação do resíduo.

### **REFERÊNCIAS**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 52:** Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2009a.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 248:** Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 7211:** Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2009b.

\_\_\_\_\_. **NBR 7809:** Agregado graúdo – Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2019.

\_\_\_\_\_. **NBR 15115:** Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004a.

\_\_\_\_\_. **NBR 15116:** Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concretos sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004b.

\_\_\_\_\_. **NBR 16312-2:** Concreto compactado com rolo – Parte 2: Preparação em laboratório. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ABREU, J. V. **Estudo do concreto de alta resistência compactado com rolo para pavimentação.** 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

ANDRADE, W. P. de (org.). **Concretos:** massa, estrutural, projetado e compactado com rolo. São Paulo: PINI, 1997.

ANDRIOLO, F. R. **Contribuições para o conhecimento e desenvolvimento do concreto rolado.** Rio de Janeiro: PINI, 1989.

ANDRIOLO, F. R.; SGARBOZA, B. C. **Inspeção e qualidade do concreto.** São Paulo: NEWSWORK, 1993.

ARULRAJAH, A.; *et al.* Geotechnical properties of recycled concrete aggregate in pavement sub-base applications. **Geotechnical**

**Testing Journal**. v. 35, p. 743-751, set. 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1520/GTJ103402>>. Acesso em: 18 nov. 2018.

ARULRAJAH, A.; *et al.* Physical properties and shear strength responses of recycled construction and demolition materials in unbound pavement bases/subbase applications. **Construction and Buildings Materials**. v. 58, p. 245-257, maio 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.02.025>>. Acesso em: 05 nov. 2018.

Balbo, J. T. **Pavimentação asfáltica: materiais projeto e restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

Balbo, J. T. **Pavimentos de concreto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

BERNUCCI, L. B.; *et al.* **Pavimentação asfáltica: Formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: Petrobras; ABEDA, 2008.

BORRÉ, G. **Estudo de resistência mecânica do concreto compactado com rolo com emprego de material fresado asfáltico para base de pavimentos**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.

CHHORN, C.; HONG, S. J.; LEE, S. W. A study on performance of roller-compacted concrete for pavement. **Construction and Buildings Materials**. v. 153, p. 535-543, jul. 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.135>>. Acesso em 17 set. 2018.

CONSELHO NACIONAL DO TRANSPORTE – CNT. **Pesquisa CNT de**

**rodovias 2018: Relatório gerencial**. Brasília, CNT, 2018.

CONSELHA NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução 307, de 05 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para gestão dos resíduos da construção civil**. Brasília, CONAMA, 2002.

COURARD, L.; MICHEL, F.; DELHEZ, P. Use of concrete road recycled aggregates for Roller Compacted Concrete. **Construction and Building Materials**. v. 24, p. 390-395, mar. 2010. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095006180900244X?via%3Dihub>> Acesso em 30 nov. 2018.

DELONGUI, L.; *et al.* Construction and demolition waste parameters for rational pavement design. **Construction and Building Materials**. v. 168, p. 105-112, abr. 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.02.086>>. Acesso em: 17 set. 2018.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM – DNER. **ME 035: Agregados – determinação da abrasão “Los Angeles”**. Rio de Janeiro, DNER, 1998.

\_\_\_\_\_. **ME 195: Agregados – determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo**. Rio de Janeiro, 1997a.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE – DNIT. **Norma DNIT 059/2004 – ES. Pavimento rígido – Pavimento de concreto de cimento Portland, compactado com rolo – Especificação de Serviço**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte, Rio de Janeiro.



- GABR, A. R.; MILLS, K. G.; CAMERON, D. A. Repeated Load Triaxial Testing of Recycled Concrete Aggregate for Pavement Base Construction. **Geotechnical and Geological Engineering**. v. 31, p. 119-132, fev. 2013. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10706-012-9572-8>>. Acesso em 19 out. 2018.
- HARRINGTON, D.; *et al.* **Guide for Roller-Compacted Concrete Pavements**. Ames: Iowa State University, 2010.
- LEITE, F. DA C.; *et al.* Laboratory evaluation of recycled construction and demolition waste for pavements. **Construction and Building Materials**. v. 25, n. 6, p. 2972-2979, jun. 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061810006367>>. Acesso em: 13 maio 2018.
- LOPEZ-UCEDA, A.; *et al.* Mechanical performance of roller compacted concrete with recycled concrete aggregates. **Road Materials and Pavement Design**. v.19, p. 36-55, set. 2016. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14680629.2016.1232659>>. Acesso em: 30 nov. 2018.
- MEDINA, J. De; MOTTA, L. M. G. Da **Mecânica dos pavimentos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2015.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: IBRACON, 2008.
- NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Concrete Technology**. 2. ed. Harlow: Pearson, 2010.
- PINTO, P. C. **Investigação de parâmetros do CCR com incorporação de escória granulada de alto forno para utilização como base de pavimentos**. 2010 Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
- RAO, M.; *et al.* Influence of maximum aggregate sizes on the performance of RCC. **Construction and Building Materials**. v. 115, p. 42-47, abr. 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061816304755>>. Acesso em: 20 ago. 2018.
- RICCI, G. **Estudo de características mecânicas do concreto compactado com rolo com agregados reciclados de construção e demolição para pavimentação**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- RICCI, G.; BALBO, J. T. Resistência e elasticidade de concretos compactados com agregados reciclados de construção e de demolição para aplicações em pavimentação. **Transportes**. v. 17, n. 2, p. 27-35, dez. 2009. Disponível em: <<https://www.revistatransportes.org.br/anpet/article/view/357>>. Acesso em 13 abr. 2018.
- SACHET, T. **Estudo de propriedades mecânicas de concretos compactados com incorporação de fresados para bases de pavimentos**. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
- SENÇO, W. de. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. 2. ed. São Paulo: PINI, 2008.
- SILVA, A. J. da. **Estudo da viabilidade de utilização da cinza pesada em adição ao concreto compactado com rolo (CCR) destinado a camada de base de pavimentos híbridos**. 2006. Dissertação (Mestrado em

Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

TOFFOLO, R. V. M. **Pavimentos sustentáveis**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2015.

TRICHÊS, G. **Concreto compactado a rolo para aplicação em pavimentação: Estudo do comportamento à fadiga e proposição de metodologia de dimensionamento**. 1993. Tese (Doutorado em Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 1993.

VALENCIA, L. E. S. Comentarios sobre el Concreto Compactado con Rodillo (CCR). **Revista de la Facultad de Ingeniería**. v. 8, p. 9-23, jun. 1999. Disponível em: <<https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rin/article/view/1403>>. Acesso em: 19 dez. 2018.