

## ANÁLISE BIBLIOGRÁFICA DO USO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO EM CAMADAS DE PAVIMENTOS

**Gustavo Lopes Rufino (\*), Rafaella Oliveira Guimarães Santos**

\* Instituto Tocantinense Presidente Antonio Carlos (ITPAC), gustavoorufino@gmail.com

### RESUMO

A manutenção de vias existentes e novas construções induzem à exploração de recursos naturais para composição das camadas do pavimento. Sabendo-se que as jazidas de materiais naturais são finitas e que em obras de pavimentação utiliza-se de grandes quantidades, um material alternativo que está sendo explorado por vários pesquisadores é o Resíduo de Construção e Demolição (RCD), utilizando-o como matéria prima em obras viárias nas camadas de base e sub-base de baixo e médio tráfego urbano. Do ponto de vista econômico e sustentável a utilização do mesmo não necessita de exploração de novas jazidas o que é bom para a economia e o meio ambiente. Nesse contexto, a presente pesquisa tem o objetivo analisar o panorama atual de pesquisas sobre o uso de resíduos de construção e demolição como material alternativo para estabilização de solos visando a sua utilização em camadas de base e sub-base de pavimentos. Os dados obtidos são importantes para apontar as misturas que apresentam resultados mais favoráveis, bem como elucidar possíveis dosagens ainda não avaliadas que podem embasar novas pesquisas. São analisados os ensaios de caracterização do material e estudos de pistas experimentais. Com base nas pesquisas consultadas, pode-se concluir que o aproveitamento dos resíduos da construção de demolição apresenta uma viabilidade técnica.

**PALAVRAS-CHAVE:** Materiais alternativos, Pavimentação, RCD, Ensaios laboratoriais.

### INTRODUÇÃO

A construção civil é uma atividade com grande importância para o desenvolvimento econômico e social, com isso vem aumentando sua atividade devido ao aumento populacional nos últimos anos, especialmente em grandes centros urbanos. Por outro lado, observa-se também o grande volume de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) produzido, que gera especial atenção.

O problema principal do ponto de vista ambiental é seu acondicionamento de forma clandestina ou irregular onde há uma grande quantidade de volumes produzidos. Uma vez que seu mal depósito geram vários problemas como enchente, interdição parcial, degradação dos rios e proliferação de vetores nocivos à saúde, ocasionando em acidentes e perdas de vidas (JOHN, 2000). Também vale ressaltar a degradação da estética das cidades quando são dispostos em ruas clandestinamente, gerando ônus para órgãos públicos.

Em contrapartida, para um desenvolvimento sustentável a exploração busca os recursos naturais sem causar danos ao meio ambiente de forma racional, de curto a longo prazo. Formas alternativas são estudadas para substituir esses recursos naturais de forma que diminua os danos ambientais como também reduza na parte orçamentária. Nesse contexto, a manutenção de vias existentes e novas construções induzem a explorações de recursos naturais para composição das camadas do pavimento. Sabe-se que as jazidas são materiais naturais e são finitas, a sua utilização em obras de pavimentação é em grande quantidade. Um material alternativo que está sendo explorado por vários pesquisadores é o RCD, utilizado como matéria prima em obras viárias nas camadas de base e sub-base.

### OBJETIVOS

O presente trabalho tem o objetivo de analisar o panorama atual de pesquisas sobre o uso de resíduos de construção e demolição como material alternativo para estabilização de solos visando a sua utilização em camadas de base e sub-base de pavimentos. Os dados obtidos são importantes para apontar as misturas que apresentam resultados mais favoráveis, bem como elucidar possíveis dosagens ainda não avaliadas que podem embasar novas pesquisas.

### METODOLOGIA

O englobamento da pesquisa é feito de modo exploratório, ou seja, buscou familiarizar com o tema abordado onde a mesma adotasse procedimentos bibliográficos e documentais (Fachin, 2003), a mesma buscou em seu embasamento documentos publicados realizando de forma sucinta um levantamento bibliográfico de artigos, dissertações e teses em torno do gerenciamento do RCD e a sua utilização em camadas de base e sub-base de pavimentos de médio e baixo tráfego com intuito de melhoria das capacidades mecânicas do solo, levando em consideração, por exemplo, o Índice de Suporte Califórnia (ISC). Em algumas pesquisas a comprovação dos resultados obtidos em laboratório foi ainda através de implantação e análises de trechos experimentais.

A pesquisa exploratória é primordial no tratamento de termos que são importantes para a sociedade (Gil, 2008). De modo que as obras pesquisadas possam ser comparadas e os seus dados mensurados. Para Alves-Mazzotti e Gewandsznajder (1998), o método exploratório busca na pesquisa qualitativa meios de esclarecer os resultados. O mesmo compreende uma apuração de uma unidade específica em sua circunstância, usando múltiplas fontes de dados que se propõe a oferecer uma visão para a sua utilização.

Para o presente trabalho, optou-se por buscar artigos publicados nos últimos 5 anos, escolhendo publicações do ano de 2015 a 2020. Inicialmente, buscaram-se publicações que envolviam o estudo do RCD, filtrando posteriormente os que faziam o uso do material em camadas de pavimento. Foram avaliadas as proporções utilizadas, os ensaios realizados, os resultados obtidos e as considerações dos autores quanto às dosagens propostas.

## RESULTADOS

A etapa inicial considerou a seleção dos artigos para estudo, buscando os mais alinhados com o tema da pesquisa. Ao final de tal etapa, foi possível selecionar 4 trabalhos de diferentes regiões do Brasil, que utilizaram o RCD em análises para utilização do mesmo em camadas de pavimentos. Os artigos são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1: Artigos selecionados. Fonte: Elaborada pelos autores, 2020.**

Artigo	Título	Autores	Ano
E1	Utilização de agregados de resíduos de construção e demolição (RCD) em bases e sub-bases de pavimentos rodoviários	Tavares, P. L. M., Marques, C. S. A., Santos, G. S. S., Nascimento, J. G. M., Almeida, M. J. M.	2018
E2	Análise da mistura do agregado de resíduos da construção e demolição (RCD) associado ao solo laterítico para aplicação em sub-base de pavimentos	Araújo, C. C. L.; Sales, N. S.	2018
E3	Aproveitamento e aplicação do RCD derivado da construção civil em camadas de base e sub-base de pavimentação na cidade de São Luís -MA	Oliveira, L. M.	2017
E4	Proposta de uso de resíduos de construção e demolição misturados ao solo tropical de Porto Nacional-TO aplicados como camadas de pavimento e camada de cobertura para aterros sanitário	Sousa, A. P.; Silva, A. C. A.; Wached, D. L. G.; Nogueira, R. P.; Carvalho, V. S.	2017

Os artigos analisados abordam diferentes percentuais de utilização do RCD com solo, como pode ser observado na Tabela 2, que mostra ainda os ensaios realizados em cada estudo.

**Tabela 2: Proporções de misturas. Fonte: Elaborada pelos autores, 2020.**

Artigo	E1	E2	E3	E4	
Dosagem do RCD	70% de RCD	20%, 30% e 40% de RCD	100% RCD, RCD + 3% cal, RCD + 6% cal, RCD + 3% cimento, RCD + 6% cimento	30%, 40%, 50% e 60% de RCD	
Ensaio	Análise granulométrica	x	x	x	x
	Limites de Atterberg	x	x	x	x
	Massa específica dos grãos	x	x	x	x
	Compactação, expansão e ISC	x	x	x	x
	Abrasão Los Angeles			x	
	Resistência a compressão simples			x	
	Permeabilidade				x
	Cisalhamento direto				x

Foi possível observar que a maioria dos trabalhos avaliados realizou ensaios de caracterização geotécnica das misturas, com ensaios de análise granulométrica, limite de liquidez, limite de plasticidade e massa específica dos grãos. Além dos ensaios de caracterização física, é comum a realização dos ensaios de caracterização mecânica, envolvendo o ensaio de compactação, expansão e Índice de Suporte Califórnia (ISC) ou *California Bearing Ratio* (CBR), denotando a importância desses ensaios na pavimentação. Outros ensaios são vistos como complementares e não são sempre realizados, como ensaio para determinação do coeficiente de permeabilidade, resistência a compressão simples, cisalhamento direto e Abrasão Los Angeles.

A partir da análise dos resultados de ensaios apresentados em cada artigo, foi possível identificar que há diferentes proporções ideais, bem como que os resultados são influenciados pelo tipo de solo estabilizado. Na Tabela 3, observam-se as dosagens adotadas nas pesquisas, os resultados de CBR obtidos e a aplicabilidade de cada mistura.

**Tabela 3: Aplicabilidade das dosagens em camadas de pavimento. Fonte: Elaborada pelos autores, 2020.**

Trabalhos	Proporção de RCD	CBR (%)	Camada
E1	70%	62	Base*
	20%	23	sub-base
E2	30%	26,70	sub-base
	40%	11,90	reforço
	100%	38	sub-base
E3	100% + 3% cal	167	Base
	100% + 6% cal	177	Base
	100% + 3% cimento	183	Base
	100% + 6% cimento	286	Base
E4	30%	29%	sub-base
	40%	40%	sub-base
	50%	34%	sub-base
	60%	-	-

\*Considerando vias com  $N \leq 5 \times 10^6$

Quanto às dosagens, foram abordadas diversas proporções de RCD com solo para estudos. É importante salientar que as que tiveram resultados positivos não foram para as duas camadas, base e sub-base, alguns dos resultados foram favoráveis para sub-base e alguns trabalhos analisados obtiveram resultados positivos para a utilização do mesmo para a base. As dosagens de 20%, 30%, 40% e 50% tiveram resultados satisfatórios em todos os trabalhos, mesmo se tratando de misturas com solos diferentes em cada pesquisa. Sendo assim a utilização do mesmo é para sub-base, pois de acordo DNIT (2006) valor mínimo do CBR para a camada de sub-base é de 20% o que enquadra todos essas dosagens ditam acima. Na dosagem de 70% de RCD no solo, o resultado foi bastante positivo, pois o CBR atingiu os 62% sendo assim que ele se enquadra tanto na sub-base como na base de acordo com DNIT (2006), pois determina que o CBR mínimo tem que ser igual ou maior que 60%. Entretanto, observa-se que a pesquisa que adotou dosagem de 60% de RCD não teve resultados satisfatórios devido à falta de coesão da mistura, pois requereu uma quantidade muito elevada de água durante a preparação da amostra tornando inviável para o ensaio. Tal resultado reforça a influência do solo utilizado na mistura, sendo que o trabalho E1 utilizou solo siltoso argiloso e no trabalho E4 era um solo laterítico.

Ressaltam-se as observações dos resultados do trabalho E2, em que o valor do CBR do solo puro foi maior do que o CBR da mistura do solo com 20% de RCD, sendo de 33,5% e 23% respectivamente. Os autores acreditam que a quantidade de RCD foi baixa, não oferecendo ganho significativo de resistência. A dosagem de 30% de RCD apresentou CBR de 26,7%, valor maior do que a dosagem de 20%. Entretanto, ao se aumentar a dosagem para 40% de RCD, o valor do CBR voltou a cair, sendo de 11,9%. Os autores puderam concluir que as proporções em torno de 30% de RCD associadas ao solo em questão seriam as mais adequadas e de maneira geral o solo puro e as dosagens de 20% e 30% de RCD poderiam ser utilizadas como sub-base de pavimento. Mesmo não havendo ganho significativo em termos de valor de CBR, a utilização do RCD diminuiria a exploração do solo bem como diminuiria a quantidade de resíduos.

Semelhante ao que aconteceu em E2, 40% de RCD obteve melhor resultado em E4, onde 30% e 50% de RCD forneceram valores de CBR inferiores.

Os resultados das dosagens dependem muito do solo da região, muitas vezes uma dosagem o resultado é diferente para cada solo. Nesse sentido nas dosagens de 40% o resultado teve influência do tipo de solo utilizado na mistura, fazendo que a dosagem não seja viável para a sua utilização em camadas de pavimento. Temos fato na dosagem de 40% de RCD os trabalhos obtiveram resultados diversos. Tal fato se deve ao solo que foi misturado, sendo que no E2 se tratava de um solo um solo laterítico, onde o mesmo possui um alto índice de meteorização em suas formas e acumulam uma grande quantidade de óxidos de ferro e de alumínio, apresentando, muitas vezes, minerais umedecidos. Já no trabalho E4 o solo utilizado também é um solo laterítico, mas por ser de outra região, sofre influência do processo de formação, mineralogia, e outros fatores que diferem os parâmetros geotécnicos.

O trabalho E3 mostrou a utilização com 100% de RCD, onde obteve o resultado no ensaio do CBR, na energia intermediária chegando nos 38% sendo viável a sua utilização em camada sub-base sendo superior a 20% exigido pelo DNIT. No mesmo trabalho mostrou uma evolução significativa, quando o mesmo misturou aditivo, Cal e Cimento, sendo uma mistura com os dois (3% de Cal e 3% de Cimento) e individual, (6% de Cal) e (6% de Cimento) mostrando que a utilização individual do cimento teve um aumento mais significativo, aumentando aproximadamente 5 vezes em relação ao material RCD in natura, representando o maior ganho de resistência em comparação com os diferentes teores estudados.

## CONCLUSÕES

De maneira geral, os ensaios vistos como básicos pra o tipo de estudo avaliado são os de caracterização física e mecânica, englobando os ensaios de análise granulométrica, limites de consistência, massa específica dos grãos, compactação, expansão e CBR. Tais ensaios são normalmente estudados nas primeiras disciplinas de geotecnia dos cursos de graduação, sendo de fácil acesso e execução simples. Denota-se ainda que de acordo com o atual método de dimensionamento de pavimentos, o CBR é um parâmetro indispensável, bem como os valores de expansão, utilizados para definir se o material ou mistura está apropriado para determinada camada do pavimento.

Quanto às dosagens adotadas, observa-se que uma mesma proporção pode fornecer valores muito diferentes, principalmente devido ao solo utilizado na mistura, como já era previsto. As dosagens abordadas foram de 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70% e 100% de RCD, em alguns casos com adição de cal e cimento, buscando estabilizar quimicamente a mistura e conferir melhorias quanto a plasticidade e resistência. Ressalta-se que baixas adições de RCD, como 20%, não forneceram ganhos significativos quando se compara com o solo puro. Os melhores resultados observados nos trabalhos E2 e E4 estão em torno de 30% e 40% de RCD, respectivamente. Adições maiores que essas citadas acarretaram a queda dos valores de CBR, não sendo viáveis proporções de 40% (E2) e 50% (E4) de RCD, principalmente devido à falta de coesão da mistura, tornando em alguns casos inviável a compactação, caso ilustrado também quando se avaliou 60% de RCD (E4). Em contrapartida, se pode destacar a mistura com 70% de RCD (E1) que obteve o melhor resultado, chegando a 62% de CBR, maior do que o CBR do solo (33%) e da mistura de solo+70% de brita (54%), sendo a brita um agregado convencional.

Como sugestão para estudos futuros, novas dosagens podem ser analisadas a fim de ter um uso mais abrangente do RCD, como por exemplo, 80% de RCD e 20% de solo. Pode-se também verificar a viabilidade econômica de uso de algum aditivo químico, como cal ou cimento, para os casos de necessidade de melhoria da coesão da mistura.

Por fim, conclui-se que a utilização do RCD é de fundamental importância, pois o volume produzido RCD é significativo e por muitas vezes ele não é reutilizado de forma correta. Na pavimentação o uso de jazidas degrada muito o meio ambiente, trata-se ainda de materiais finitos e podem acabar tornando a construção inviável, ou seja, mais cara.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alves-Mazzotti, A. J.; Gewandzajder, F. **O método nas ciências naturais e sociais: pesquisa quantitativa e qualitativa**. São Paulo: Pioneira, 1998.
2. Araújo, C. C. L., Sales, N. S. Análise da mistura do agregado de resíduos da construção e demolição (RCD) associado ao solo laterítico para aplicação em sub-base de pavimentos. IN: 1º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade, Gramado-RS, 2018. **Anais...** Gramado, 2018.
3. Departamento Nacional De Infraestrutura de Transporte (DNIT). **Manual de pavimentação**. Publicação IPR – 719, Rio de Janeiro, 2006.
4. Fachin, O. **Fundamentos de metodologia**. 4. ed. São Paulo: Saraiva, 2003.

5. Gil, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. Editora Atlas, 6ª ed., 2008. Disponível em: <<https://ayanrafael.files.wordpress.com/2011/08/gil-a-c-mc3a9todos-e-tc3a9cnicas-de-pesquisa-social.pdf>>. Acesso em 23 de maio de 2020.
6. John, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil – contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. Tese (livre docência) – Escola Politécnica, USP, São Paulo, 2000.
7. Oliveira, L. M. Aproveitamento e aplicação do RCD derivado da construção civil em camadas de base e sub-base de pavimentação na cidade de São Luís – MA. IN: Reunião de Pavimentação Urbana, Florianópolis-SC, 2017. **Anais...** Florianópolis, 2017.
8. Sousa, M. A. P., Silva, A. C. A., Wached, D. L. G., Nogueira, R. P., Carvalho, V. S. Proposta de uso de resíduos de construção e demolição misturados ao solo tropical de Porto Nacional-TO aplicados como camadas de pavimento e camada de cobertura para aterros sanitários. IN: Reunião de Pavimentação Urbana, Florianópolis-SC, 2017. **Anais...** Florianópolis, 2017.
9. Tavares, P. L. M., Marques, C. S. A., Santos, G. S. S., Nascimento, J. G. M., Almeida, M. J. M. Utilização de agregados de resíduos de construção e demolição (RCD) em bases e sub-bases de pavimentos rodoviários. IN: 1º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade, Gramado-RS, 2018. **Anais...** Gramado, 2018.