

## UTILIZAÇÃO DE MATERIAIS DE RCD PARA MELHORAMENTO DE SOLO DA ENTRADA DA UNIFIO

### USE OF RCD MATERIALS TO IMPROVE THE SOIL AT THE ENTRANCE TO UNIFIO

<sup>1</sup>CHAGAS, Caique V ; <sup>2</sup>NASCIMENTO , Gabriela D ; <sup>3</sup>RODRIGUES, André L.C .  
<sup>1e2</sup>Departamento de Engenharia Civil – Centro Universitário das Faculdades Integradas de Ourinhos-Unifio/FEMM

#### RESUMO

Este artigo apresenta uma proposta de melhoria de desempenho de solo de base de pavimento flexível por meio de um roteiro com adição de Resíduos de Construção e Demolições (RCD). A proposta conta com a análise de trabalhos científicos publicados, que além de apresentar melhorias de resistência, contribuem com a reutilização de materiais que seriam descartados, garantindo um destino final sustentável para o mesmo. Os trabalhos levam em conta os ensaios de campo e de laboratório, tais como Limite de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP), Análise Granulométrica, Determinação da Massa Específica dos Grãos. Os trabalhos comparados apresentam características próximas ao do solo analisado, que é argiloso, e as adições de RCD nas proporções de 10, 20% e 30% chegaram a aumentar a resistência do solo estudado. Portanto, o presente trabalho sugere que seja utilizada uma mistura de 30% de RCD no solo objeto desta análise, para que possa atender as cargas solicitantes e, assim, trazendo um benefício para os usuários da rua.

**Palavras-chave:** Melhoramento de Solo; RCD; Sustentabilidade; Pavimentação.

#### ABSTRACT

This article presents a proposal to improve the performance of flexible pavement base soil through a route with the addition of Construction and Demolition Waste (CDW). The proposal relies on the analysis of published scientific works, which in addition to presenting improvements in resistance, contribute to the reuse of materials that would otherwise be discarded, ensuring a sustainable final destination for them. The work takes into account field and laboratory tests, such as Liquidity Limit (LL), Plasticity Limit (LP), Granulometric Analysis, Determination of the Specific Grain Mass. The compared works present characteristics close to those of the analyzed soil, which is clayey, and the additions of RCD in the proportions of 10%, 20% and 30% increased the resistance of the studied soil. Therefore, the present work suggests that a mixture of 30% of RCD on the ground subject of this analysis, so that it can meet the requesting loads and, thus, bringing a benefit to street users.

**Keywords:** Soil improvement; RCD; Sustainability; Paving.

#### INTRODUÇÃO

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), o setor de construção civil é um dos que mais acumulam resíduos sólidos e entulhos nos canteiros de obras em todo o planeta, ocasionando em diversos impactos ambientais. Com as novas demandas do século XXI, a sustentabilidade surge na construção civil com um principal objetivo, no qual, faz-se necessário a utilização de recursos e materiais que acabam por diminuir, consideravelmente, os impactos degradantes em todo ecossistema. A validação do estudo do tema sustentabilidade é

emblemática, pois este é o que garante uma redução dos impactos que são causados pelas construções.

O termo Resíduos da Construção Civil e Demolição (RCD), popularmente conhecido como “entulhos de obras” é uma classe de materiais descartados que constituem os resíduos sólidos urbanos (RSU). A má administração desses materiais pode engendrar em grandes problemas urbanos, tais como: enchentes, danos na infraestrutura de drenagem por entupimentos e poluição.

Concomitantemente, o destino correto e o reaproveitamento desses insumos trazem consigo a economia de materiais destinados a obra. Segundo a Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil (ABRECOM, 2019), se todo resíduo gerado pela construção civil, no Brasil, fosse reciclado, aquele poderia ajudar a construir 2134 Maracanãs. Portanto, é fulcral destacar que o despojamento inteligente é benéfico tanto para o consumidor, quanto para o ecossistema.

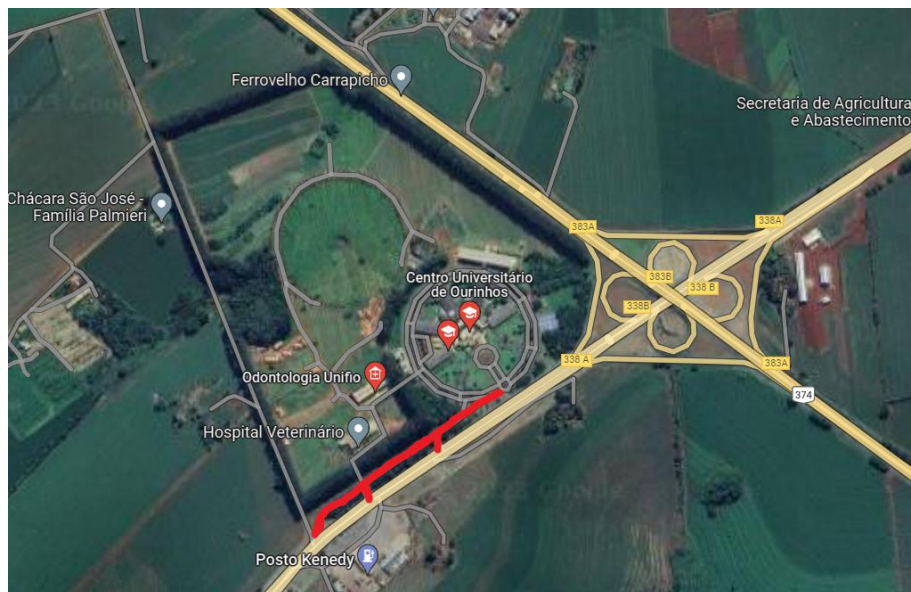
O Brasil possui uma enorme extensão territorial, isso cria uma demanda extremamente considerada da utilização de estradas e rodovias, tanto para o transporte de pessoas, como para a logística de produtos e bens. Além disso existe uma grande variedade de solos e estes não apresentam condições para serem utilizados em obras de pavimentações, sendo assim, existe um processo de melhoria destes solos, chamados de “estabilização”, no qual o mesmo acaba adquirindo características de aumento de resistência e conseqüentemente se tornando viável para uma possível pavimentação.

Logo, o objetivo dessa pesquisa é analisar os trabalhos que fizeram esse estudo e propor um roteiro para ser utilizado na UNIFIO nos quais, evidenciam o melhoramento do solo e a redução da emissão de gases efeito estufa, por exemplo, o gás carbônico.

## **METODOLOGIA**

Através das análises dos artigos realizados pelos autores (SILVIA, Cátia Aline; FUCALE, Stela; FERREIRA, Silvio, 2019) que tem como objetivo o melhoramento da sub base do solo em obras de pavimentação com a adição de RCD, foi possível recomendar um roteiro à ser seguido e aplicado na pavimentação da entrada da Instituição de Ensino UNIFIO.

**Figura 1.** Localização onde deverão ser coletados as amostras no Campus.



Fonte: Google Earth 2023.

O RCD que pode vir a ser utilizado será proveniente de obras na região de Ourinhos. Esse RCD é composto por resíduos advindos de restos de argamassa, tijolos quebrados e materiais semelhantes que foram triturados até chegar numa granulometria adequada para ser misturada ao solo, formando um material homogêneo.

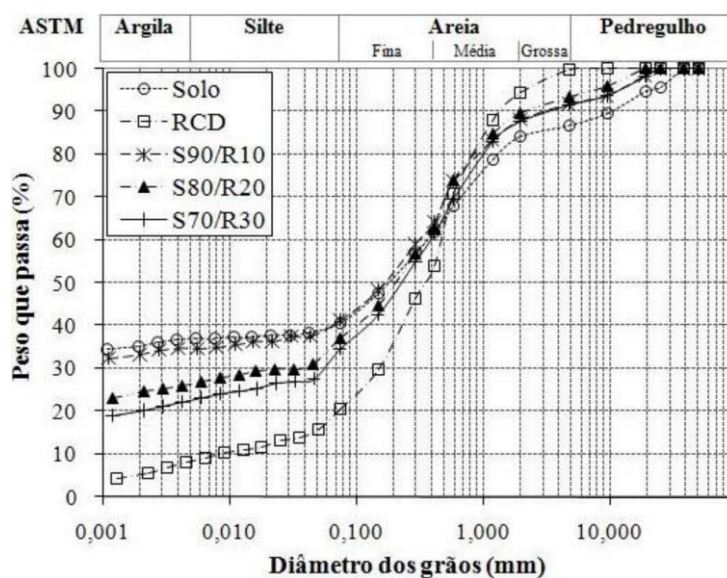
De acordo com órgão regulamentador Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), responsável por classificar os resíduos da construção civil, os mesmos são classificados em quatro categorias: Classe A (agregados reciclados) provenientes de demolição, construção; Classe B (agregados reciclados), papeis, plásticos, metais, etc.; Classe C (resíduos não recicláveis); Classe D (resíduos perigosos) como tintas, solventes. Sendo assim o agregado que será utilizado nesse estudo pertence a classe A.

## **ANÁLISE DOS ARTIGOS APRESENTADOS**

Através das análises dos resultados dos ensaios realizados pelos autores (SILVIA, Cátia Aline; FUCALE, Stela; FERREIRA, Silvio, 2019), cujo o mesmo possui características de solo semelhantes ao solo presente na Instituição de Ensino UNIFIO, no caso um solo Argiloso pode verificar que: No Ensaio de

Granulometria, na amostra contendo o agregado reciclado, obteve-se uma redução das frações de silte e argila do solo, tendo uma maior influência na areia e aumentando-a. Como mostrado na figura abaixo:

**Figura 2.** Curva Granulométrica da distribuição das partículas.



Fonte: (SILVIA, Cátia Aline; FUCALE, Stela; FERREIRA, Silvio, 2019)

Na Figura 3 e figura 4, em sequência, são apresentados os valores da massa específica, os limites de Atterberg, teor de umidade, porosidade e as curvas de compactação, depois de acrescentados os agregados reciclados.

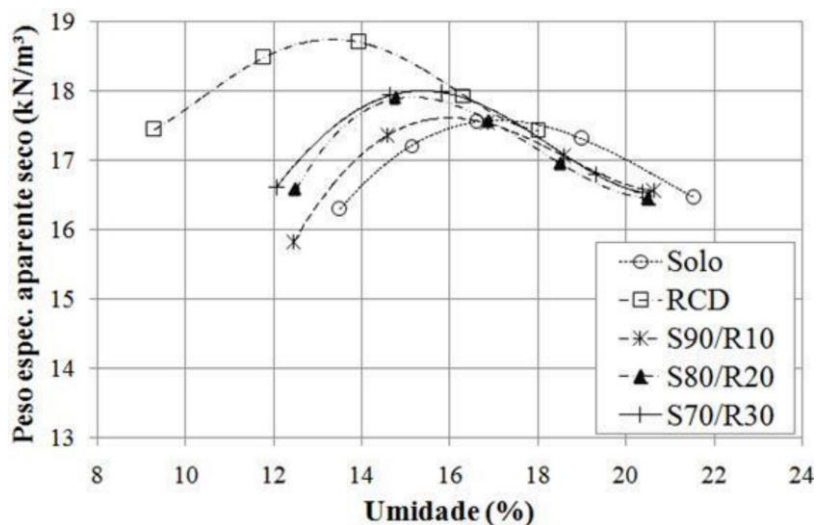
**Figura 3.** Parâmetros Geotécnicos das amostras.

PARÂMETROS	AMOSTRA					
	SOLO	RCD	SOLO+10%RCD	SOLO+20%RCD	SOLO+30%RCD	
Massa específica real dos grãos ( $\text{kN/m}^3$ )	26,60	26,40	26,60	26,50	26,40	
Limites de Atterberg	LL (%)	44	-	35	31	28
	LP (%)	23	-	21	18	18
	IP (%)	21	NP	14	13	10
Umidade ótima (%)	17,49	13,52	16,22	15,42	15,39	
Peso específico aparente seco máximo ( $\text{kN/m}^3$ )	17,60	18,72	17,63	17,87	17,97	
Porosidade (%)	34	29	34	33	32	

Obs.: LL - limite de liquidez; LP - limite de plasticidade; IP - índice de plasticidade; NP - não plástico.

Fonte: (SILVIA, Cátia Aline; FUCALE, Stela; FERREIRA, Silvio, 2019)

**Figura 4.** Curvas de compactação dos solos



Fonte: (SILVIA, Cátia Aline; FUCALE, Stela; FERREIRA, Silvio, 2019)

De acordo com o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS), o solo em questão está classificado como areia-argilosa (SC), o RCD se compara muito com uma areia-siltosa (SM) já as misturas onde constam RCD e solo puro, se caracterizam também como areia-argilosa (SC).

Observando a Figura [3], nota-se que adição do RCD resultou na redução da plasticidade do solo, levando-o para uma plasticidade média, em 10% (IP).

Devido a distribuição das partículas do solo estarem de forma mais arranjada, acaba por consequentemente existir uma melhor acomodação dos grãos no processo de compactação e também, um valor de umidade ótima mais baixa, uma vez que se encontra uma quantidade menor de finos na amostra.

Na representação da imagem na Figura [4] são apresentadas as curvas de compactação, estas possuem certo deslocamento para esquerda na parte superior do gráfico, mostrando assim, que houve uma redução na umidade e porosidade das amostras e também aumento do peso específico aparente seco máximo, como mostrado também na Figura [3].

Agora, analisando o estudo e ensaios realizados pelos autores (QUEIROZ, Rita Flávia Régis; DUARTE, Érika Vitória Negreiros; FREIRE, Cristtiany Cavalcante Palhano; GOMES, Daniel Pereira, 2020), onde foram realizados os mesmos ensaios, com a adição do Ensaio de Índice de Suporte Califórnia (CBR). Foram coletadas 3 amostras, uma sendo adicionada uma porcentagem de 20% de RCD

(B), a outra contendo 30% (C) do agregado e uma terceira amostra com solo puro, que é basicamente constituído de pó de brita (A).

Os Resíduos utilizados nesta análise, foram provenientes de uma reforma na cidade de Campina-Grande (PB), mais precisamente de um edifício familiar.

Na realização do Ensaio de Análise Granulométrica, foi verificado a distribuição do solo puro, contendo apenas pó de brita e também a distribuição do Resíduo (RCD). Como mostrado na Figura [5] e Figura [6] abaixo:

**Figura 5.** Distribuição Granulométrica do Solo Puro

<b>PENEIRAS</b>	<b>ABERTURA (mm)</b>	<b>MASSA RETIDA (g)</b>	<b>% RETIDA SIMPLES</b>	<b>% RETIDA ACUMULADA</b>	<b>% PASSANTE</b>
4	4,750	439,1	25,24	25,24	74,76
10	2,000	431,4	24,80	50,03	49,97
16	1,180	220,6	12,68	62,71	37,29
30	0,600	209,6	12,02	74,74	25,26
40	0,450	81,3	4,67	79,41	20,59
50	0,300	83,3	4,79	84,20	15,80
100	0,150	147,2	8,46	92,66	7,34
200	0,075	109,9	6,32	98,98	1,02
Fundo		17,8	1,02	100,00	0,00
Total		1739,8	100,00	--	--

Fonte: (QUEIROZ, Rita Flávia Régis; DUARTE, Érika Vitória Negreiros; FREIRE, Cristtiany Cavalcante Palhano; GOMES, Daniel Pereira, 2020)

**Figura 6.** Distribuição Granulométrica do RCD

<b>PENEIRAS</b>	<b>ABERTURA (mm)</b>	<b>MASSA RETIDA (g)</b>	<b>% RETIDA SIMPLES</b>	<b>% RETIDA ACUMULADA</b>	<b>% PASSANTE</b>
4	4,750	62,2	3,44	3,44	96,56
10	2,000	513,0	28,36	31,80	68,20
16	1,180	212,1	11,73	43,52	56,48
30	0,600	305,2	16,87	60,40	39,60
40	0,450	141,5	7,82	68,22	31,78
50	0,300	169,5	9,37	77,59	22,41
100	0,150	257,3	14,22	91,81	8,19
200	0,075	129,3	7,15	98,96	1,04
Fundo		18,8	1,04	100,00	0,00
Total		1808,9	100,00	--	--

Fonte: (QUEIROZ, Rita Flávia Régis; DUARTE, Érika Vitória Negreiros; FREIRE, Cristtiany Cavalcante Palhano; GOMES, Daniel Pereira, 2020)

Através do Ensaio de compactação, foi possível verificar os Teores de Umidade Ótima e Massa Específica Aparente Seca das amostras. Os ensaios foram realizados com energia modificada, através da aplicação de 55 golpes em cada camada de cada uma das amostras, como mostrado na Figura [7] abaixo:

**Figura 7.** Valores de umidade e massa específica aparente seca das amostras.

<b>AMOSTRA</b>	<b>UMIDADE ÓTIMA (L)</b>	<b>MASSA ESPECÍFICA APARENTE SECA (g/m<sup>3</sup>)</b>
A	0,4564	2,096
B	0,5621	2,072
C	0,5887	2,041

Fonte: (QUEIROZ, Rita Flávia Régis; DUARTE, Érika Vitória Negreiros; FREIRE, Cristtiany Cavalcante Palhano; GOMES, Daniel Pereira, 2020)

No Ensaio de Limite de Liquidez (LL), foi constatado os seguintes resultados para as amostras, obtendo em cada uma delas 50g de solo sendo peneiradas manualmente na peneira de nº40. Como ilustrado na Figura [8]:

**Figura 8.** Valores de Limite de Liquidez das amostras.

<b>AMOSTRA</b>	<b>LIMITE DE LIQUIDEZ (LL)</b>
A	17,705
B	31,352
C	21,020

Fonte: (QUEIROZ, Rita Flávia Régis; DUARTE, Érika Vitória Negreiros; FREIRE, Cristtiany Cavalcante Palhano; GOMES, Daniel Pereira, 2020)

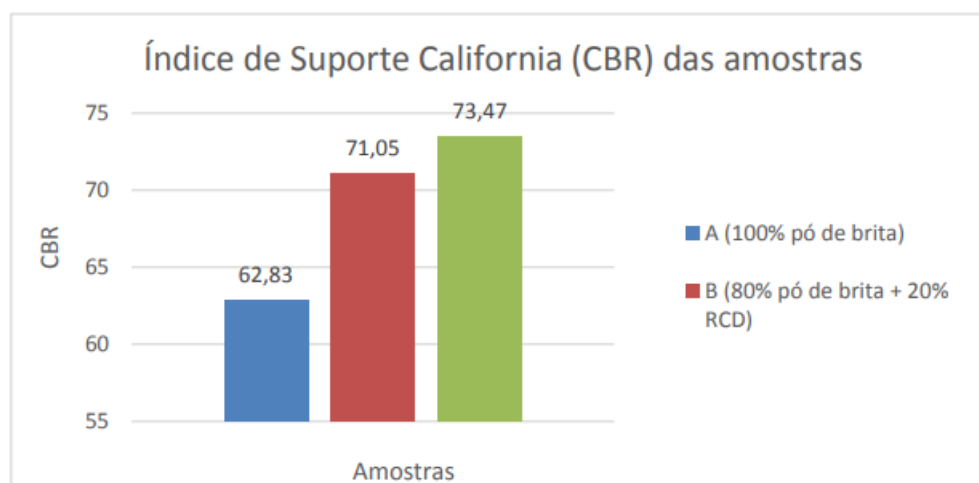
Como dito anteriormente, o Ensaio de Índice de Suporte Califórnia (CBR) também foi realizado neste estudo, a capacidade de Suporte e de Expansão das 3 amostradas foram estudadas com base em uma tabela fornecida, já normatizada DNER- ME PRO 049/94, que consta na Figura [9] abaixo:

**Figura 9.** Limites de CBR e Expansão.

<b>CAMADA</b>	<b>ENERGIA</b>	<b>CBR (%)</b>	<b>EXPANSÃO</b>
Reforço de subleito	Normal	$\geq 12$	$\leq 1,0$
Sub-base	Intermediária	$\geq 20$	$\leq 1,0$
Base	Intermediária ou modificada	$\geq 60$	$\leq 0,5$

Fonte: DNIT (2006)

Os corpos de prova foram ajustados no ponto de umidade ótima e densidade seca máxima, conveniente do Ensaio de Compactação, sendo assim, na Figura [10] abaixo, mostra-se os resultados do Índice de Suporte Califórnia (CBR) e na Figura [11], os valores de expansão das amostras.

**Figura 10.** Resultado CBR.

Fonte: (QUEIROZ, Rita Flávia Régis; DUARTE, Érika Vitória Negreiros; FREIRE, Cristtiany Cavalcante Palhano; GOMES, Daniel Pereira, 2020)

**Figura 11.** Valores de expansão das amostras

<b>AMOSTRA</b>	<b>EXPANSÃO</b>	<b>UMIDADE ÓTIMA (%)</b>
A	2,0%	46%
B	0,0%	56%
C	0,0%	59%

Fonte: (QUEIROZ, Rita Flávia Régis; DUARTE, Érika Vitória Negreiros; FREIRE, Cristtiany Cavalcante Palhano; GOMES, Daniel Pereira, 2020)



## RECOMENDAÇÃO DE ROTEIRO A SER SEGUIDO

Será necessário realizar os seguintes ensaios, baseados nas seguintes normas: NBR 7181 (ABNT, 2016) para a análise granulométrica; NBR 6459 (ABNT, 2016) para a determinação do limite de liquidez; NBR 7180 (ABNT, 2016) para a determinação do limite de plasticidade; NBR 6508 (ABNT, 1984) para a determinação da massa específica dos grãos de solos; NBR 7182 (ABNT, 2016) para os ensaios de compactação, NBR 9895 (ABNT, 2016).

O material de estudo deverá ser preparado e trabalhado em laboratório, seguindo as normas NBR NM 27 (ABNT, 2001) e NBR 6457 (ABNT, 2016).

Os resíduos deverão ser acrescentados ao solo em uma quantidade de 10%, 20% e 30% de peso de solo. Uma quarta amostra contendo apenas solo será coletada e servirá de referência para comparação com as outras amostras, essas serão coletadas de acordo com a norma 002/94 (DNER-PRO) para coleta de amostras indeformadas de solos. Abaixo, na tabela 1, constam os solos com as devidas proporções.

**Tabela 1.** Misturas dos solos.

Material	Solo (%)	Resíduo (%)
SP	100	0
S-10%	90	10
S-20%	80	20
S-30%	70	30

Depois de serem realizados os devidos ensaios conseguiremos alcançar resultados que mostrarão se o agregado reciclado pode vir a aumentar a resistência do solo, com as mudanças de características físicas do mesmo.

## CONCLUSÕES

Para obter uma resposta conclusiva se o uso de agregados reciclado na melhoria do subleito do solo é eficaz, uma série de estudos e ensaios devem ser realizados e verificados. O presente trabalho tem a função de contextualizar e expor um roteiro explicativo, mostrando de forma sucinta e breve os passos a serem seguidos para a se atingir este objetivo.

As análises de Trabalhos Científicos já realizados, presentes nesse estudo, evidenciaram os resultados do seguimento deste roteiro. Levando em consideração estas análises, pudemos verificar que o uso de RCD tem importante e contundente influencia na melhoria do solo, mostrando que, a umidade do solo diminui, causando a diminuição da plasticidade e conseqüentemente levando ao aumento de sua resistência.

Verificou-se através dos ensaios realizados no primeiro trabalho analisado que a amostra contendo 30% de adição de RCD teve uma maior eficácia dentro destes parâmetros.

No segundo trabalho analisado, o teor de umidade ótima do solo aumenta, após a adição do RCD, uma vez que o solo em questão é considerado seco, tornando-o mais plástico. A expansão analisada nas amostras após os ensaios, apresentaram-se nulas para as que continham RCD, enquanto o solo puro apresentou 2%, logo, sendo desvantajoso seu emprego na pavimentação.

Por fim, conclui-se que a utilização do RCD, melhora a base e sub-base do solo, em obras de pavimentação.

## REFERÊNCIAS

AMORIM, E. F; **Viabilidade técnica econômica de misturas de solo-rdc em camadas de base de pavimentos urbanos**. Estudo de caso município de campo verde, Brasília, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6508**: Determinação da massa específica dos grãos de solos. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180**: Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182**: Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 2016.

CORRÊA, L.R. **Sustentabilidade na construção civil**. 2009. 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

MARQUES, B.S.; DALVI, B.M.; ALVAREZ, E. C.; **Políticas públicas em prol da sustentabilidade na construção civil em municípios brasileiros**, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2018.

QUEIROZ, Rita Flávia Régis; DUARTE, Érika Vitória Negreiros; FREIRE, Cristtiany Cavalcante Palhano; GOMES, Daniel Pereira; **Análise da capacidade de suporte em camadas granulares de pavimentos com adição de RCD** – Trabalho apresentado no V CONAPESC, Campina-Grande (PB), 2020.

SANTOS, E.C.G; **Aplicação de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) em estruturas de solo reforçado**. Dissertação apresentada à escola de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

SILVIA, Cátia, Aline; FUCALE, Stela; FERREIRA, Melo, Romero, Silvio; **Efeito da adição de resíduos da construção e demolição (RCD) nas propriedades hidromecânicas de um solo areno-argiloso** - Universidade Federal de Pernambuco –UFPE, 2019.

YEMAL, A. J.; TEIXEIRA, V. O. N.; NAAS, A.I.; **Sustentabilidade na Construção Civil**, 2011, São Paulo **Proceedings...** International workshop advances in cleaner production, 2011.