

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO-CAMPUS RIO VERDE.
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO.
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA APLICADA E
SUSTENTABILIDADE

ANÁLISE DA ESTABILIZAÇÃO DE SOLO ARGILOSO COM
RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC) PARA
APLICAÇÃO EM BASE E SUB-BASE DE PAVIMENTOS

Autora: Gabrielle Souza Vieira
Orientador: Bruno de Oliveira Costa Couto
Coorientadora: Isabella Christine de Paula Santos

RIO VERDE - GO
Julho - 2025

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO-CAMPUS RIO VERDE.
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO.
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA APLICADA E
SUSTENTABILIDADE

ANÁLISE DA ESTABILIZAÇÃO DE SOLO ARGILOSO COM
RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC) PARA
APLICAÇÃO EM BASE E SUB-BASE DE PAVIMENTOS

Autora: Gabrielle Souza Vieira
Orientador: Bruno de Oliveira Costa Couto
Coorientadora: Isabella Christine de Paula Santos

Dissertação apresentada, como parte das exigências para aprovação da defesa final, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde - Área de concentração (Engenharia Aplicada e Sustentabilidade).

RIO VERDE, GO
2025

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO

PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS

NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- ☐ Tese (doutorado)
☒ Dissertação (mestrado)
☐ Monografia (especialização)
☐ TCC (graduação)

- ☐ Artigo científico
☐ Capítulo de livro
☐ Livro
☐ Trabalho apresentado em evento

☐ Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

GABRIELLE SOUZA VIEIRA

Matrícula:

2023102331440001

Título do trabalho:

Análise da estabilização de solo argiloso com resíduos de construção civil (RCC) para aplicação em base e sub-base de pavimentos



RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: ☒ Não ☐ Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 30 / 09 / 2025

O documento está sujeito a registro de patente? ☐ Sim ☒ Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? ☐ Sim ☒ Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Documento assinado digitalmente
 GABRIELLE SOUZA VIEIRA
Data: 11/09/2025 23:46:28-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Rio Verde-GO

Local

12 / 09 / 2025

Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Documento assinado digitalmente



BRUNO DE OLIVEIRA COSTA COUTO

Data: 23/09/2025 08:38:26-0300

Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Ciente e de acordo:



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 61/2025 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Unidade do IF Goiano:	Campus Rio Verde	
Programa de Pós-Graduação:	Engenharia Aplicada e Sustentabilidade	
Defesa de:	Dissertação	Defesa de número: 90
Data: 01/07/2025	Hora de início: 09:00h	Hora de encerramento: 12:00h
Matrícula do discente:	2023102331440001	
Nome do discente:	Gabrielle Souza Vieira	
Título do trabalho:	ANÁLISE DA ESTABILIZAÇÃO DE SOLO ARGILOSO COM RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC) PARA APLICAÇÃO EM BASE E SUB-BASE DE PAVIMENTOS	
Orientador:	Bruno de Oliveira Costa Couto	
Área de concentração:	Engenharia Aplicada e Sustentabilidade	
Linha de Pesquisa:	Materiais, Estruturas e suas Tecnologias	
Projeto de pesquisa de vinculação	ANÁLISE DA ESTABILIZAÇÃO DE SOLO ARGILOSO COM RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC) PARA APLICAÇÃO EM BASE E SUB-BASE DE PAVIMENTOS	
Titulação:	Mestre em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade	

Nesta data, reuniram-se os componentes da Banca Examinadora, Prof. Dr. Bruno de Oliveira Costa Couto (Presidente da banca), Prof. Dr. Philippe Barbosa Silva (Avaliador Interno) e Prof. Dr. Ronderson Queiroz Hilário (Avaliador Externo) sob a presidência do primeiro, em sessão pública realizada de forma online, para procederem a avaliação da defesa de dissertação, em nível de Mestrado, de autoria de **GABRIELLE SOUZA VIEIRA**, discente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A sessão foi aberta pelo presidente da Banca Examinadora, Bruno de Oliveira Costa Couto, que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra, a seguir, foi concedida o(a) autor (a) da dissertação para, em 40 min., proceder à apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da banca arguiu o(a) examinado(a), tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se a avaliação da defesa. Tendo-se em vista as normas que regulamentam o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade, e procedidas às correções recomendadas, a dissertação foi APROVADA, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **MESTRE EM ENGENHARIA APLICADA E SUSTENTABILIDADE**. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega na secretaria do PPGEAS da versão definitiva da dissertação, com as devidas correções. Assim sendo, esta ata perderá a validade se não cumprida essa condição, em até **60** (sessenta) dias da sua ocorrência. A Banca Examinadora recomendou a publicação dos artigos científicos oriundos dessa Tese em periódicos de circulação nacional e/ou internacional, após procedida as modificações sugeridas. Cumpridas as formalidades da pauta, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de dissertação de mestrado, e foi lavrada a presente Ata, que, após lida e achada conforme, será assinada pelos membros da Banca Examinadora.

Decisão da banca: Aprovada

Esta defesa é parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna do IFGoiano.

Documento assinado eletronicamente por:

- **Bruno de Oliveira Costa Couto**, **PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 04/07/2025 04:41:38.
- **Ronderson Queiroz Hilário**, **Ronderson Queiroz Hilário - Professor Avaliador de Banca - Instituto Federal Minas Gerais (1)**, em 04/07/2025 08:08:02.
- **Philippe Barbosa Silva**, **PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 22/07/2025 12:21:19.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 30/05/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 712441

Código de Autenticação: 262a6a8642



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Rio Verde

Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970

(64) 3624-1000

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**

V658 Vieira, Gabrielle
 Análise da estabilização de solo argiloso com resíduos de
 construção civil (RCC) para aplicação em base e sub-base de
 pavimentos / Gabrielle Vieira. Rio Verde 2025.

 81f. il.

 Orientador: Prof. Dr. Bruno de Oliveira Costa Couto.
 Coorientadora: Prof^ª. Ma. Isabella Christine de Paula Santos.
 Dissertação (Mestre) - Instituto Federal Goiano, curso de
0233144 - Mestrado Profissional em Engenharia Aplicada e
Sustentabilidade (Campus Rio Verde).
 I. Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Documentos 36/2025 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

ANÁLISE DA ESTABILIZAÇÃO DE SOLO ARGILOSO COM RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC)
PARA APLICAÇÃO EM BASE E SUB-BASE DE PAVIMENTOS

Autor: Gabrielle Souza Vieira
Orientador: Prof. Dr. Bruno de Oliveira Costa Couto

TITULAÇÃO: Mestre em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade - Área de Concentração Engenharia Aplicada e Sustentabilidade

APROVADO em 01 de julho de 2025.

Prof. Dr. Philippe Barbosa Silva
Avaliador Interno - IFGOIANO / Rio Verde

Prof. Dr. Ronderson Queiroz Hilário
Avaliador Externo - UFMG

Prof. Dr. Bruno de Oliveira Costa Couto
Presidente da banca - IFGOIANO / Rio Verde

Documento assinado eletronicamente por:

- **Bruno de Oliveira Costa Couto**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 04/07/2025 04:40:31.
- **Ronderson Queiroz Hilário**, Ronderson Queiroz Hilário - Professor Avaliador de Banca - Instituto Federal Minas Gerais (1), em 04/07/2025 08:07:01.
- **Philippe Barbosa Silva**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 22/07/2025 12:20:42.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 30/05/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 712444
Código de Autenticação: 58cb0b253b



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Rio Verde
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970
(64) 3624-1000

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por me guiar e fortalecer ao longo desta jornada, concedendo sabedoria e perseverança para alcançar este importante marco.

Agradeço aos meus pais, Wellington e Maria Aparecida, pelo apoio incondicional, amor e incentivo que me deram em todos os momentos. À minha irmã, Francielle, por estar sempre ao meu lado, oferecendo carinho e suporte inestimável.

À empresa RNV Resíduos, meu sincero agradecimento pela disponibilização do material utilizado nos ensaios, facilitando consideravelmente a execução desta pesquisa.

Agradeço também à Universidade de Rio Verde – UNIRV, por disponibilizar o laboratório para a realização de parte dos ensaios, e ao CRTI – Centro Regional para o Desenvolvimento Tecnológico e Inovação, pela execução de importantes análises que contribuíram significativamente para este estudo.

Por fim, agradeço profundamente ao meu orientador Bruno Couto e à minha coorientadora Isabella Christine, pelo incentivo, pelas oportunidades e pelo valioso conhecimento compartilhado ao longo deste percurso. Suas orientações foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho e para o meu crescimento acadêmico e profissional.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Gabrielle Souza Vieira, nascida em 04 de junho de 1999 na cidade de Rio Verde, Goiás. Filha de Wellington dos Santos Vieira e Maria Aparecida Souza Araújo Vieira. Graduada em Engenharia Civil pela Universidade de Rio Verde - UNIRV (2016/02-2020). Ingressou no Programa de Mestrado Profissional em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade (PPGEAS) em 2023, realizando a defesa de sua dissertação em julho de 2025.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE TABELAS	vii
LISTA DE ABREVIACÕES	viii
RESUMO	viii
ABSTRACT	xi
1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Justificativa	12
1.2 Revisão de Literatura	14
1.2.1 Fundamentos da Pavimentação	14
1.2.2 Características dos solos argilosos.....	15
1.2.3 Métodos tradicionais de estabilização de solos	17
1.2.4 Métodos não convencionais de estabilização de solos.....	18
1.2.5 Resíduos de construção civil (RCC)	22
2 OBJETIVOS	23
3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24
4 CAPÍTULO 1 – ARTIGO 1.....	28
4.1 Introdução	30
4.2 Materiais e Métodos.....	31
4.2.1 Materiais.....	31
4.2.1.1 Solo	31
4.2.1.2 Resíduo de Construção Civil	32
4.2.2 Métodos	33
4.2.2.1 Caracterização do Solo	34
4.2.2.2 Caracterização do RCC	35

4.2.2.3 <i>Preparação das Amostras</i>	35
4.2.2.4 <i>Ensaio de compactação</i>	36
4.2.2.5 <i>Ensaio de CBR</i>	37
4.3 <i>Resultados e discussão</i>	38
4.3.1 <i>Massa específica dos grãos</i>	38
4.3.2 <i>Análise Gravimétrica do RCC</i>	39
4.3.3 <i>Fluorescência de Raios X (FRX)</i>	40
4.3.4 <i>Difratometria de Raios X (DRX)</i>	41
4.3.5 <i>Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)</i>	42
4.3.6 <i>Índice de degradação IDP do RCC</i>	44
4.3.7 <i>Análise granulométrica do solo e RCC</i>	45
4.3.8 <i>Análise granulométrica do solo com adição de RCC</i>	46
4.3.9. <i>Limite de Liquidez e Plasticidade</i>	47
4.3.10. <i>Ensaio de compactação</i>	48
4.3.11. <i>Ensaio de CBR</i>	49
4.4 <i>Conclusões</i>	50
4.5 <i>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i>	51
ANEXO A	53
ANEXO B	58
ANEXO C	63
ANEXO D	68
ANEXO E	73
ANEXO F	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Camadas constituintes dos pavimentos	14
CAPÍTULO I	
Figura 1: Localização do solo	34
Figura 2: BGR fornecido pela empresa RNV-Resíduos	32
Figura 3: Estrutura da pesquisa.....	33
Figura 4: Amostras de solo com adição de RCC. a) 25% de adição; b) 50% de adição; c) 75% de adição.	36
Figura 5: Ensaio de Compactação.	37
Figura 6: Submersão dos corpos-de-prova por 96h para ensaio de CBR	38
Figura 7: Ensaio de rompimento dos corpos-de-prova CBR.....	38
Figura 8: Refinamento de Rietveld – GSAS II	42
Figura 9: Ensaio de Microscopia Eletrônica de Varredura do solo	46
Figura 10: Mapa composicional da amostra de solo.....	49
Figura 11: Gráfico das curvas granulométrica do Solo e do RCC.....	49
Figura 12: Gráfico de análise granulométrica do solo com adição de RCC.....	49
Figura 13: Curvas de Compactação para as Misturas de Solo e RCC	49

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Análise comparativa entre RCC e métodos tradicionais de estabilização de solo.....	21
--	----

CAPÍTULO I

Tabela 1: Porcentagens de substituição	35
Tabela 2: Massa específica dos grãos	38
Tabela 3: Análise gravimétrica	39
Tabela 4: Análise química dos óxidos maiores	40
Tabela 5: Índice de degradação após compactação Proctor (RCC).....	45
Tabela 6: Resultados de CBR.	49

LISTA DE ABREVIACÕES

Sigla	Significado
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABREMA	Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente
AGETOP	Agência Goiana de Transporte e Obras
BGR	Brita Graduada Reciclada
CBR	California Bearing Ratio
CCA	Cinza de Casca de Arroz
CDW	Construction and Demolition Waste
CNT	Confederação Nacional do Transporte
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CRTI	Centro Regional para o desenvolvimento Tecnológico e Inovação
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte
DRX	Difração de Raio X
FRX	Fluorescência de Rio X
GOINFRA	Agência Goiana de Infraestrutura e Transporte
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDP	Índice de Degradação pós compactação Proctor
IG	Índice de Grupo
IP	Índice de Plasticidade
LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de Plasticidade
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
NBR	Norma Brasileira

NP	Não Plástico
RCC	Resíduo de Construção Civil
RCD	Resíduo de Construção e Demolição
UNIRV	Universidade de Rio Verde
Fe	Ferro
Si	Silício
Al	Alumínio
Ca	Cálcio
Ti	Titânio
K	Potássio
SiO ₂	Dióxido de Silício
TiO ₂	Dióxido de Titânio
Al ₂ O ₃	Óxido de Alumínio
Fe ₂ O ₃	Trióxido de Ferro (hematita)
MnO	Monóxido de Manganês
MgO	Óxido de Magnésio
CaO	Óxido de Cálcio
Na ₂ O	Óxido de Sódio
K ₂ O	Óxido de Potássio
P ₂ O ₅	Pentóxido de Fósforo
SO ₃	Trióxido de Enxofre
LOI	<i>Loss on Ignition</i> (Perda ao Fogo)

RESUMO

VIEIRA, GABRIELLE SOUZA. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, fevereiro de 2020. **Análise da estabilização de solo argiloso com resíduos de construção civil (RCC), para aplicação em base e sub-base de pavimentos.** Orientador: Bruno de Oliveira Costa Couto. Coorientadora: Isabella Christine de Paula Santos.

As rodovias representam o principal meio de transporte no Brasil, exercendo papel fundamental na logística nacional, mas também demandando elevados investimentos em manutenção e qualidade estrutural. A construção de pavimentos duráveis exige, além de técnicas adequadas, o uso de materiais de qualidade, tornando um desafio em regiões que predominam solos argilosos, caracterizados por baixa resistência mecânica e expansibilidade elevada. Nesse contexto, a estabilização de solos locais surge como alternativa sustentável, com o intuito de diminuir os impactos da extração em jazidas e os custos de transporte. Dentre as técnicas empregadas, destaca-se o uso de resíduos da construção civil (RCC), que, além de representar uma solução técnica viável, contribui para a mitigação de impactos ambientais associados ao descarte irregular. Este estudo visa avaliar a eficiência da estabilização de um solo argiloso de Rio Verde - GO com adição de resíduos de construção civil (RCC) nas proporções de 25%, 50% e 75%, visando sua aplicação em bases e sub-bases de pavimentos. A pesquisa busca compreender como diferentes porcentagens de RCC afetam a granulometria, os limites de liquidez e plasticidade, a compactação e o CBR do solo, com o objetivo de identificar a proporção ideal de RCC para melhorar as propriedades mecânicas. Os resultados indicaram que a adição de RCC ao solo argiloso melhorou significativamente as propriedades físicas e mecânicas. As misturas atenderam aos critérios de CBR e expansão para sub-base e, no caso de 75% de RCC, também à granulometria exigida para base. A estabilização com RCC mostrou-se tecnicamente e sustentavelmente viável.

Palavras-chave: Estabilização de Solo. RCC na estabilização de solos. Sustentabilidade. Pavimentação. Propriedades mecânicas.

ABSTRACT

VIEIRA, GABRIELLE SOUZA. Goiano Federal Institute – Rio Verde Campus – GO, February 2020. **Analysis of Clayey Soil Stabilization with Construction and Demolition Waste (CDW) for Application in Pavement Base and Sub-base.** Advisor: Bruno de Oliveira Costa Couto. Co-Advisor: Isabella Christine de Paula Santos.

Highways represent the main mode of transportation in Brazil, playing a fundamental role in national logistics, while also requiring significant investments in maintenance and structural quality. The construction of durable pavements demands not only proper techniques but also quality materials, which poses a challenge in regions dominated by clayey soils, known for their low mechanical strength and high expansibility. In this context, the local soils stabilization emerges as a sustainable alternative, aiming to reduce the impacts of quarry extraction and transportation costs. Among the techniques employed, the use of construction and demolition waste (CDW) stands out, as it represents a technically viable solution while also contributing to the mitigation of environmental impacts related to improper disposal. This study aims to evaluate the effectiveness of stabilizing a clayey soil from Rio Verde-GO with the CDW addition in proportions of 25%, 50%, and 75%, targeting its application in pavement bases and sub-bases. The research seeks to understand how different percentages of CDW affect the soil's gradation, liquid and plastic limits, compaction, and CBR, to identify the ideal proportion of CDW to improve its mechanical properties. The results indicated that adding CDW to the clayey soil significantly improved its physical and mechanical properties. The mixtures met the CBR and expansion criteria for sub-base use, and in the case of 75% CDW, also met the gradation required for base layers. However, the Los Angeles abrasion test was not performed, which limits the completeness of the evaluation. Nonetheless, stabilization with CDW proved to be both technically and environmentally viable.

Keyword: Soil. CDW. Sustainability. Pavement. Mechanical Properties.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa

Segundo a Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2022), as rodovias são o meio de transporte mais utilizado no Brasil, desempenhando papel vital na economia do país ao garantir o transporte de mercadorias e pessoas em todo o território nacional. Essa intensa utilização das rodovias não só ressalta a importância, mas também coloca uma pressão crescente sobre a infraestrutura de transporte, exigindo expansão e manutenção contínuas.

A execução propriamente adequada dos pavimentos de rodovias e de vias urbanas necessita de planejamento, projeto, construção e manutenção, com o intuito de diminuir os custos e o tempo de execução, além de aumentar a qualidade, a economia de recursos não renováveis e o tempo de vida útil da estrutura do pavimento. (Cezne *et al.*, 2016).

Segundo Moraes (2017), o solo argiloso é encontrado em diversas regiões do Brasil. Esse tipo de solo apresenta desafios significativos quando utilizados em bases e sub-bases de pavimentos. Suas propriedades, como baixa resistência mecânica e alta suscetibilidade a variações volumétricas, resultam em instabilidade, comprometendo a durabilidade e funcionalidade dos pavimentos. (Firoozi *et al.*, 2017).

Solos de alta qualidade para empregos em obras de pavimentação geralmente são encontrados em locais distantes da obra, o que resulta em custo elevado com transporte, além de impactos ambientais na extração em jazidas. Desse modo, o aprimoramento dos solos locais por métodos de estabilização é uma solução viável e uma

alternativa a ser considerada para a redução de impactos ambientais e custos (Oliveira, 2011).

A estabilização do solo consiste no beneficiamento por um processo químico ou mecânico, tornando-o adequado para atender aos requisitos necessários para sua utilização, mesmo quando submetido a ações climáticas e de cargas. Os principais métodos utilizados para a estabilização incluem a compactação, a correção granulométrica e o uso de aditivos químicos estabilizantes, que podem ser empregados em conjunto ou individualmente (Batista, 1976).

A utilização de resíduos de construção civil (RCC) tem se destacado como uma alternativa inovadora na estabilização de solos. Diversas pesquisas apresentadas na literatura revelam os benefícios da aplicação desse material em obras de pavimentação, atendendo requisitos até mesmo para aplicação em bases e sub-bases de pavimentos (Santos; Araújo e Ayres, 2019; Herrador *et al.*, 2012; Almeida *et al.*, 2018; Niehues e Steiner, 2018).

O setor da construção civil é um dos principais responsáveis pela geração de resíduos sólidos no país. Apesar da elevada produção, ainda enfrenta dificuldades na gestão adequada desse material, principalmente em relação ao tratamento, à reciclagem e à destinação final, agravadas pela escassez de áreas apropriadas para o descarte (Schenini, Bagnati e Cardoso, 2004).

Nesse contexto, o reaproveitamento dos resíduos gerados pela indústria da construção civil torna-se uma estratégia relevante para o desenvolvimento sustentável e econômico do setor, contribuindo para a mitigação dos impactos ambientais relacionados ao descarte inapropriado e minimizando os efeitos relacionados à extração de matérias-primas de origem natural (Santos; Araújo e Ayres, 2019).

Desta forma, esta pesquisa visa contribuir significativamente para o campo da engenharia civil, especificamente na área de estabilização de solos e pavimentação. Ao investigar as propriedades mecânicas de solos argilosos estabilizados com RCC, espera-se fornecer dados empíricos que possam orientar futuras práticas de engenharia. Além disso, os resultados desta pesquisa podem influenciar na formulação de novas normas técnicas e regulamentos, incentivando o uso de materiais reciclados na construção civil e promovendo práticas mais sustentáveis em larga escala.

1.2 Revisão de Literatura

1.2.1 Fundamentos da Pavimentação

De acordo com Bernucci (2008), a pavimentação é o processo de construção de uma estrutura composta por múltiplas camadas sobre o solo natural, denominada subleito, com a finalidade de suportar e distribuir as cargas provenientes do tráfego, além de proporcionar uma superfície de rolamento segura e confortável para os usuários.

No Brasil, a pavimentação é regulamentada principalmente pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), que estabelece diretrizes para o projeto, execução e manutenção de pavimentos. Dentre as publicações vigentes, destaca-se o "Manual de Pavimentação" (Publicação IPR-719), que oferece instruções abrangentes sobre materiais, dimensionamento e técnicas de execução de pavimentos e a Instrução Normativa nº 10/2023, que estabelece procedimentos técnicos e administrativos para o recebimento de obras de pavimentação.

Um pavimento é composto por várias camadas, cada uma com funções específicas para garantir o desempenho estrutural e funcional da via. As principais camadas são apresentadas na Figura 1:

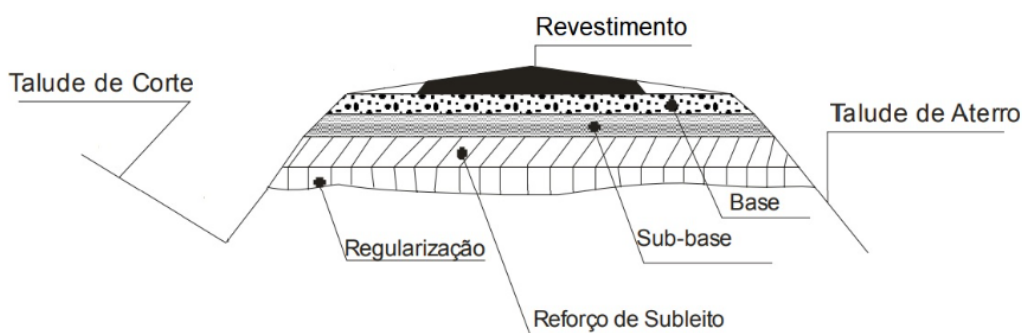


Figura 1: Camadas constituintes dos pavimentos
Fonte: (DNIT, 2006, p.106)

Reforço de Subleito: operação destinada a conformar o leito estradal, transversal e longitudinalmente, obedecendo às larguras e cotas constantes das notas de serviço de regularização de terraplenagem do projeto, compreendendo cortes ou aterros até 20 cm de espessura. Os materiais constituintes são solos ou mistura de solos (DNIT, 2010).

Sub-base: camada de pavimentação, complementar à base e com as mesmas funções, executada sobre o subleito ou reforço do subleito, devidamente compactado e regularizado. Os materiais constituintes são solos, mistura de solos e materiais britados (DNIT, 2010).

Base: camada de pavimentação destinada a resistir aos esforços verticais oriundos dos veículos, distribuindo-os adequadamente à camada subjacente, executada sobre a sub-base, subleito ou reforço do subleito devidamente regularizado e compactado. Os materiais constituintes são solos, mistura de solos e materiais britados (DNIT, 2010).
Revestimento (ou camada de rolamento): é a camada superior do pavimento que recebe diretamente o tráfego dos veículos. Ela é projetada para ser o mais impermeável possível, visando melhorar o conforto e a segurança dos usuários, além de resistir ao desgaste causado pelo tráfego (DNIT, 2006).

1.2.2 Características dos solos argilosos

O solo é um material natural formado pela desagregação e decomposição das rochas, processo que ocorre pela ação do intemperismo, seja por agentes físicos, como a variação de temperatura e a ação mecânica, ou por processos químicos, como oxidação e hidratação (Silva, 2015).

A decomposição das rochas resulta em uma mistura de minerais e, em alguns casos, matéria orgânica, com variações na granulometria. Os solos podem conter partículas maiores, como pedregulhos e areias, originadas pela desagregação física, ou partículas finas, como siltes e argilas, formadas por processos químicos (Santiago, 2001).

Segundo a NBR 6502 (ABNT, 2022) os solos argilosos são compostos predominantemente por partículas muito finas, com diâmetro inferior a 0,002 mm, formadas pela decomposição de minerais como feldspatos e silicatos. Esses minerais, provenientes de rochas ígneas e metamórficas, sofrem ações de intemperismo químico ao longo do tempo, resultando em argilominerais, que influenciam diretamente nas propriedades físico-químico do solo.

A granulometria dos solos argilosos é crucial para determinar as propriedades mecânicas, como plasticidade, coesão e resistência. Essas partículas, devido ao seu tamanho reduzido, possuem alta superfície específica, que contribui para a formação de

uma estrutura densa e coesa, influenciando diretamente o comportamento do solo em diversas condições ambientais e de carga (IBGE, 2007).

Segundo Oliveira Junior (2022), uma das principais características dos solos argilosos é a alta capacidade de retenção de água, resultante da grande área superficial das partículas finas. Isso faz com que permaneçam úmidos por mais tempo, se comparado com os solos arenosos. Em regiões com alta precipitação, isso pode resultar em alagamentos ou encharcamento.

A plasticidade dos solos argilosos é uma das propriedades mais significativas, que se manifesta quando o solo está úmido. Isso ocorre pela atração entre as partículas finas, que facilita a formação de uma massa plástica. Além disso, esses solos apresentam uma forte coesão, com partículas que tendem a se unir com mais força em comparação a solos com partículas maiores, como os arenosos. Contudo, essa coesão diminui quando o solo seca, tornando-o mais rígido e sujeito à fissuração (Faria, 2005).

Os solos argilosos também apresentam baixa permeabilidade. Visto que as partículas finas do solo formam uma estrutura compacta, que dificulta a passagem de líquidos. Como resultado, esses solos tendem a reter grandes volumes de água na superfície, que pode levar ao encharcamento e à formação de poças. (Santiago, 2001).

A variação volumétrica dos solos argilosos é outro aspecto crítico sensibilidade às mudanças de umidade, provocando o inchamento, com a absorção de água, e fissuração, com a falta dela. Essas variações volumétricas afetam diretamente a estabilidade de estruturas como pavimentos e fundações. Rachaduras e deformações são comuns nesses casos. Por isso, é essencial considerar esse comportamento no projeto e tratamento do solo. (Santiago, 2001).

No Brasil, é comum observar o equívoco quanto a classificação entre solos argilosos e lateríticos, principalmente quando a análise se baseia apenas em parâmetros granulométricos ou dos limites de consistência. Em razão da semelhança visual entre esses dois tipos de solo, que geralmente apresentam coloração avermelhada e textura fina. (Zorzi, 2008).

O solo laterítico, apesar de assemelhar ao solo argiloso, possui origem, composição química e comportamento geotécnico completamente diferente. Esse tipo de solo é resultante de processos de laterização, típicos em climas tropicais, caracterizados pela lixiviação da sílica e pela presença em grande proporção de óxidos de ferro (Fe_2O_3) e alumínio (Al_2O_3), que o caracteriza em uma estrutura granular e porosa, de baixa coesão. (Zorzi, 2008).

Para distinguir esses tipos de solo, a AGETOP (2002) determina que a razão (R/S), que corresponde à proporção entre os óxidos resistentes (Fe_2O_3 , Al_2O_3 , TiO_2) e óxidos solúveis (SiO_2 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O) seja menor que 2 para solos lateríticos, além da completa ausência de argila montmorilonita, no ensaio de análise termogravimétrica diferencial (DRX).

No entanto, o que realmente importa para aplicação em pavimentação, é se o solo apresenta o comportamento laterítico, ou seja, baixa expansibilidade e alto valor de suporte (CBR), mesmo que demonstre uma granulometria descontínua, com altos valores de limite de liquidez (LL) e índice de plasticidade (IP). (AGETOP, 2002).

1.2.3 Métodos tradicionais de estabilização de solos

A estabilização do solo é um processo que visa aprimorar as propriedades mecânicas por meio de técnicas como aperfeiçoamento da distribuição granulométrica, compactação e a incorporação de aditivos. Esses métodos resultam na redução do volume de vazios, diretamente relacionado à porosidade, e no preenchimento parcial dos espaços que não podem ser completamente eliminados. Além disso, ocorre uma modificação nas características de permeabilidade e um fortalecimento das ligações entre os grãos, aumentando o contato entre eles e melhorando a capacidade do solo de distribuir as tensões de forma mais eficiente. (Dantas, 2020).

O método de estabilização do solo é uma prática essencial na engenharia geotécnica, especialmente quando se trata de solos com alto teor de argila, que segundo a ABCP (1962), não são recomendados para aplicação direta em pavimentação, pois, mesmo após a compactação, não alcançam as propriedades necessárias de capacidade de suporte ou de expansão para serem utilizados em camadas de base e sub-base.

Segundo Orioli (2024) para melhorar as propriedades mecânicas dos solos argilosos e torná-los mais adequados para a pavimentação, existem diversos métodos de estabilização, que podem ser classificados em químicos e mecânicos. No contexto da construção civil, a escolha do método de estabilização depende das condições do solo, dos custos envolvidos e dos objetivos específicos do projeto.

- Estabilização química: de acordo com Rocha e Rezende (2017), estabilização química do solo é uma técnica amplamente utilizada na engenharia civil para

melhorar as propriedades mecânicas e a durabilidade dos solos empregados em pavimentações e outras estruturas. Esse método envolve a adição de aditivos químicos, como cal e cimento, que interagem com os componentes do solo, especialmente os argilominerais, promovendo alterações significativas em suas características geotécnicas. A cal, por exemplo, ao ser incorporada a solos argilosos, provoca reações de troca catiônica e floculação, resultando em uma textura mais estável e menos suscetível à expansão. Ainda segundo Rocha e Rezende (2017), as reações pozolânicas entre a cal e os argilominerais formam compostos cimentantes que aumentam a resistência do solo ao longo do tempo. O cimento, por sua vez, é mais eficaz em solos com menor teor de argila e sem minerais expansivos, e contribui para a redução da plasticidade e da compressibilidade, além de aumentar a resistência mecânica (Dantas, 2020). A escolha do aditivo e a dosagem dependem das características específicas do solo a ser estabilizado, sendo fundamental uma análise detalhada para garantir a eficácia do processo e a longevidade da estrutura resultante.

Estabilização mecânica: é um método tradicional que visa melhorar a densidade e a resistência do solo por meio da compactação e correção granulométrica. A compactação é um processo que envolve a aplicação de esforços mecânicos para reduzir os espaços vazios entre as partículas do solo, aumentando a densidade e, consequentemente, a capacidade de suporte (Lakhanpal; Chopra, 2018). A correção granulométrica consiste na combinação e mistura de diferentes tipos de solos em proporções adequadas, visando obter um material homogêneo e bem graduado, com uma porcentagem limitada de partículas finas, seguido de posterior compactação. Apesar desses benefícios, os métodos tradicionais de estabilização também apresentam algumas limitações. A estabilização com aditivos químicos pode ser cara e ambientalmente questionável, especialmente em grandes áreas. Já a compactação e a mistura de solos, embora eficazes, podem não ser suficientes para resolver problemas de alta expansividade em solos argilosos, exigindo, muitas vezes, tratamentos adicionais (Cunha, 2018).

1.2.4 Métodos não convencionais de estabilização de solos

Diversas pesquisas têm explorado métodos não convencionais para a estabilização de solos, com foco em soluções mais sustentáveis. Resíduos industriais,

como escórias de alto-forno, resíduos de construção civil, fibras, cinzas volantes e cinzas de casca de arroz, surgem como opções promissoras, contribuindo para a redução do impacto ambiental e promovendo a economia circular.

Em sua pesquisa, Mogrovejo (2013) avaliou a viabilidade de utilizar fibras de papel kraft, provenientes da reciclagem de sacos de cimento, como estabilizante para solos argilosos e arenosos da região de Campinas, São Paulo. A autora preparou misturas desses solos com diferentes teores de fibras de polpa de celulose extraídas dos sacos de cimento e avaliou as propriedades geotécnicas resultantes. Os resultados indicaram aumento na resistência ao cisalhamento em todas as combinações testadas, com destaque para as misturas envolvendo o solo argiloso.

Lima *et al.* (2023) estudou a efetividade do uso de lama de cal, um resíduo da indústria de papel e celulose, como agente estabilizante em solos para aplicação em pavimentação asfáltica. Foram avaliados diferentes teores de lama de cal (10%, 20%, 30%, 40% e 50%) e os resultados indicaram que a adição de lama de cal contribui para a redução da expansão térmica e melhora a resistência do solo às variações climáticas. Embora a utilização de lama de cal na estabilização de solos ainda seja pouco explorada, este estudo sugere que a aplicação é viável, atendendo às normativas vigentes para uso em camadas de sub-base e reforço do subleito em pavimentação asfáltica.

Silva, Bello e Ferreira (2020) constataram que o uso da cinza de casca de arroz (CCA) e a cal hidratada, são eficazes como agentes estabilizantes de solos argilosos. A pesquisa avaliou a adição de diferentes percentuais de CCA (2% a 14%) e de cal hidratada (3% a 13%) a um solo expansivo, analisando a expansividade tanto no estado natural quanto após a compactação ótima. Os resultados indicaram que a substituição parcial do solo por esses aditivos reduziu significativamente a expansão, influenciando positivamente as características físicas e químicas do solo, demonstrando a eficácia dessa abordagem na estabilização de solos expansivos.

Yadav, *et al.* (2017) explorou o uso de cinzas provenientes de diferentes fontes, como casca de arroz, bagaço de cana-de-açúcar e esterco animal. O estudo indicou que a adição de cinza de casca de arroz e bagaço de cana-de-açúcar, quando submetidas a processos de finura e queima adequados, apresentam características cimentantes, tornando-se eficazes na estabilização de solos para subleitos. Por outro lado, a cinza de esterco animal não demonstrou ser um estabilizante eficaz por si só, mas seu potencial pode ser aprimorado quando combinada com aditivos específicos.

Niehues; Steiner (2018) avaliou a viabilidade do uso de agregado de resíduo de concreto (ARC) na estabilização de um solo argiloso. As misturas com o resíduo apresentaram, em sua maioria, CBR e expansão compatíveis com os requisitos do DNIT para subleito, sendo a combinação com 70% de de ARC fino e compactação Proctor Modificada a mais eficaz.

Nicolau e Barbosa (2023) analisou misturas de solo com 15 e 30% de adição de resíduos de construção civil reciclados. Os resultados mostraram aumento no CBR e redução da expansão das misturas, indicando melhora nas propriedades mecânicas. No entanto, os valores ainda ficaram abaixo dos exigidos para uso em reforço de subleito, sendo necessária a correção da expansão.

Omido, *et al.* (2024) em sua pesquisa avaliou o uso de RCC puro e misturado ao solo em camadas granulares de pavimentos rodoviários. As misturas com 20 e 60% de RCC apresentaram desempenho satisfatório, atendendo as normativas para aplicação em base, sub-base e reforço de subleito, além de contribuir para a redução da extração de materiais naturais.

Em sua pesquisa, Herrador *et al.* (2012), realizaram um estudo experimental de campo e verificaram que a capacidade de suporte observada com o uso de RCC demonstrou um comportamento semelhante ao obtido para uma estrutura utilizando agregados convencionais.

Santos, Araújo e Ayres (2019) analisaram o uso de resíduos de construção civil na pavimentação e constataram a viabilidade. Os materiais reciclados apresentaram valores de CBR acima do mínimo exigido, e ainda apontou uma economia de até 56,67% em comparação aos materiais convencionais.

Almeida *et al.* (2018), realizaram uma pesquisa sobre a viabilidade econômica da aplicação de RCC oriundo de um aterro situado em Passo Fundo-RS. Os resultados indicaram bom potencial de reutilização do material em camadas de base, sub-base e reforço de subleito em pavimentação, com CBR superior ao exigido na normativa, e ausência de expansão.

A estabilização de solos com RCC apresenta-se como uma alternativa viável em relação aos métodos tradicionais, como o uso de cal e cimento Portland. A análise comparativa entre essas abordagens, considerando critérios como desempenho mecânico, impacto ambiental e viabilidade econômica, está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1: Análise comparativa entre RCC e métodos tradicionais de estabilização de solo.

Critério	Métodos de Estabilização		
	RCC	Cal	Cimento Portland
Desempenho Mecânico	Melhora a capacidade de suporte e resistência à compressão; variabilidade na composição pode afetar resultados.	Reduz plasticidade e aumenta resistência em solos argilosos; eficácia depende das características do solo.	Proporciona aumentos significativos na resistência e durabilidade; amplamente utilizado em diversos tipos de solo.
Impacto Ambiental	Reduz o volume de resíduos em aterros e a extração de recursos naturais; promove sustentabilidade na construção civil.	Produção envolve extração de calcário e consumo de energia, resultando em emissões de CO ₂ ; menor impacto que o cimento.	Produção intensiva em energia e significativa fonte de emissões de CO ₂ ; substituição parcial por RCC pode mitigar impactos.
Viabilidade Econômica	Dependente da disponibilidade e custo de processamento do RCC; políticas de incentivo podem aumentar competitividade.	Geralmente mais acessível; eficácia depende do solo, podendo exigir dosagens maiores.	Tende a ser mais caro; custos ambientais associados à produção são significativos; análise de custo-benefício necessária.

Fonte: Dados extraídos de Xavier, Souza Neto e Bandeira (2022); Tebechrani Neto (2019) e Cabral (2018).

A estabilização de solos com RCC pode ser uma alternativa vantajosa em termos de impacto ambiental e viabilidade econômica, especialmente pela redução do consumo de materiais cimentícios e pelo reaproveitamento de resíduos. No entanto, o desempenho mecânico pode variar conforme a composição dos RCC utilizados, exigindo estudos específicos para garantir a aplicação eficiente. Dessa forma, a escolha do método de estabilização deve considerar não apenas a resistência do solo tratado, mas também os benefícios sustentáveis e o custo-benefício do processo (Sartori, 2015).

1.2.5 Resíduos de construção civil (RCC)

Os resíduos de construção civil (RCC) representam uma fração significativa dos resíduos sólidos urbanos, sendo gerados em atividades de construção, reforma, ampliação e demolição de edificações e infraestruturas (ABREMA, 2023). A composição desses resíduos varia de acordo com o tipo de obra e os materiais empregados, incluindo concreto, argamassa, tijolos, cerâmica, madeira, metais, plásticos, gesso e outros componentes utilizados no setor da construção civil.

A classificação dos RCC é definida pela Resolução CONAMA nº 307/2002, que estabelece os critérios e procedimentos para a gestão desses resíduos com base na composição e potencial de reutilização ou reciclagem, sendo classificados em quatro categorias:

- Classe A – Resíduos recicláveis de construção, demolição, reformas e reparos, compostos por materiais como concreto, argamassa, blocos cerâmicos, pedras e outros elementos inertes. Esses resíduos podem ser reutilizados como agregados para pavimentação, concretos não estruturais ou base de infraestrutura viária.
- Classe B – Resíduos passíveis de reciclagem, mas que requerem processamento antes da reutilização, como plásticos, metais, vidros, madeiras e gessos. Esses materiais podem ser reaproveitados na fabricação de novos produtos ou destinados à indústria da reciclagem.
- Classe C – Resíduos para os quais não há tecnologias economicamente viáveis de reaproveitamento, como materiais cuja reciclagem é inviável ou ainda não regulamentada. Exemplos incluem alguns tipos de plásticos mistos, tintas e adesivos.
- Classe D – Resíduos perigosos, que apresentam riscos ao meio ambiente e à saúde pública, como aqueles contaminados por substâncias químicas, materiais com amianto e resíduos oriundos de processos industriais que contêm componentes tóxicos. Esses resíduos devem ser gerenciados de acordo com regulamentações específicas para evitar contaminação ambiental.

A reciclagem e reutilização dos resíduos de construção civil representam estratégias essenciais para a redução do impacto ambiental da construção civil, promovendo a economia circular e minimizando a extração de recursos naturais. Os métodos empregados variam conforme a composição dos resíduos e a viabilidade técnica,

sendo classificados em processos de reaproveitamento direto, beneficiamento e transformação em novos insumos para a construção (Brasileiro; Matos, 2015).

A reciclagem de agregados é uma das formas mais eficazes de reaproveitamento do RCC, especialmente para materiais de origem mineral, como concreto, argamassa e cerâmica. O processo consiste na trituração e classificação desses resíduos para obtenção de agregados reciclados, que podem substituir os agregados naturais em diversas aplicações (Paulino *et al.*, 2023).

Dentre as principais utilizações, destaca-se a incorporação dos agregados reciclados em bases e sub-bases de pavimentação, em que esses materiais apresentam desempenho satisfatório, atendendo a requisitos técnicos específicos de compactação e resistência, conforme NBR 15115 (ABNT, 2004). Além disso, esses agregados podem ser utilizados em concretos não estruturais, como na produção de blocos, artefatos de concreto para calçadas, elementos de drenagem e contra pisos. No entanto, a aplicação em concretos estruturais ainda requer estudos adicionais para garantir a durabilidade e a resistência necessárias (Lima; Pinheiro e Oliveira, 2022).

A reutilização direta de componentes da construção civil é uma alternativa sustentável que reduz significativamente o consumo de recursos naturais. Materiais como tijolos, telhas, portas, janelas, louças sanitárias, estruturas metálicas e pisos cerâmicos podem ser recuperados e empregados em novas edificações, reformas ou construções temporárias. Esse método depende da seleção criteriosa e do armazenamento adequado dos resíduos para evitar danos que inviabilizem a reutilização (Oliveira; Gonzalez e Kern, 2024).

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Analisar as propriedades físicas e mecânicas de um solo argiloso da cidade de Rio Verde - GO, estabilizado granulometricamente, por meio da adição de resíduos de construção civil (RCC).

2.2 Específicos

- Realizar a estabilização do solo natural com adição de diferentes teores de RCC, a fim de identificar o traço que estabelece melhor desempenho;
- Comparar os resultados obtidos com os requisitos normativos estabelecidos para aplicação em base e sub-base de pavimentos (DNIT 141/2022).

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA GOIANA DE TRANSPORTES E OBRAS (AGETOP). Especificações gerais para obras rodoviárias: **ARQ-947** – Volume I – Especificações de Serviço. Edição revista. Goiânia, 2002.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. ABCP - **Dosagem das misturas de solo-cimento**, capítulo IV. São Paulo, SP, 1962

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6502**: Rochas e Solos. Rio de Janeiro, 1995.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RESÍDUOS E MEIO AMBIENTE. ABREMA – **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2023**. Capítulo I. São Paulo, SP, 2023.

BATISTA, C. F. N. **Ensaio fundamentais para a pavimentação e dimensionamentos dos pavimentos flexíveis**. 2. ed. v. 1. Porto Alegre: Globo, 1976.

BERNUCCI, L. B. et al. **Pavimentação asfáltica: Formação básica para engenheiros**. 756f. PETROBRAS: ABEDA, Rio de Janeiro, 2008.

BRASIL. CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 307**, de 05 de julho de 2002.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. **Cerâmica** **61**. p. 178-189. 2015.

CABRAL, F. M. **Estabilização de solo com adição de cal e cimento para fins de pavimentação na região de Uberlândia**. 2018, 45 f. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 2018.

CEZNE, A. B.; OLIVEIRA, H. A.; GOMES, Y. Y. S. B. **Estudo de dosagem de areia e cimento para estabilização de um solo tropical**. 47 f. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) – Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **Anuário CNT do transporte 2022: estatísticas consolidadas**. 7. ed. Brasília, DF: CNT, 2022.

CUNHA, C. E. A. **Adição de agregado reciclado de resíduo da construção civil para estabilização de um solo expansivo**. 2018. 67 f. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2018.

DANTAS, N. K. P. **Estudo do comportamento de tijolos de solo-cimento com substituição de solo por resíduos da construção civil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade), Instituto Federal Goiano, Rio Verde, 2020.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **DNIT 719/2006** – Manual de Pavimentação. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **DNIT 19/2010** – Pavimentação: Sub-base estabilizada granulometricamente - Especificação de Serviço. Espírito Santo, 2010.

_____. **DNIT 137/2010** – Pavimentação: Regularização do subleito - Especificação de Serviço. Espírito Santo, 2010.

_____. **DNIT 141/2010** – Pavimentação: Base estabilizada granulometricamente - Especificação de Serviço. Espírito Santo, 2010.

FARIA, P. A. G. **Propriedades composicionais e geotécnicas de solos argilosos em obras rodoviárias**. 2005. 273 f. Dissertação (Doutorado em Geotecnia), Universidade de Aveiro, Aveiro, 2005.

FIROOZI, A. A. et. al. Fundamentals of soil stabilization. **International Journal of GeoEngineering**. nov, 2017.

HERRADOR, R. et al. Use of recycled construction and demolition waste aggregate for road course surfacing. **Journal of Transportation Engineering**, v. 138, p. 182-190, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual Técnico de Pedologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. (Manuais Técnicos em Geociências, n. 4).

LAKHANPAL, A.; CHOPRA, A. **A Comparative Study of Waste Foundry Sand and Marble Dust as a Soil Stabilizing Material**. Independently published, 2018. 74 p. ISBN 978-1-7237-9710-1.

LIMA, J. L. B.; PINHEIRO, E. C. N. M.; OLIVEIRA, R. P. Resíduos de construção civil reaproveitados em obras de pavimentação de vias. **Brazilian Journal of Development**. v. 8, n. 10, p. 69220-69242, 2022.

LIMA, J. S. P.; et. al. Estabilização de solo com rejeito da produção de celulose. **Revista Científica ANAP Brasil**. v 16. n 40. 2023.

MOGROVEJO, D. R. L. **Avaliação das propriedades geotécnicas de um solo argiloso e outro arenoso com adição de fibras de papel kraft**. 2013. 181 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

MORAIS, J. J. O. **Caracterização geotécnica da expansividade de um solo argiloso de um município de Paulista-PE**. 2017. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

NICOLAU, C. O.; BARBOSA, F. M. D. R. Análise do comportamento do solo com adição de resíduos de construção e demolição (RCD). **Research, Society and Development**. v. 12, n. 7, p.1-13, 2023.

NIEHUES, A. P. G.; STEINER, L. R. **Estabilização granulométrica de solo argiloso com agregado de resíduo de concreto da construção civil para utilização em pavimentação**. 2018. 19 f. Artigo (Graduação em Engenharia Civil), Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2018.

OLIVEIRA, J. de.; GONZALEZ, M. A. S.; KERN, A. P. Análise do projeto para desmontagem e desconstrução como ferramenta da economia circular da construção civil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 24, e133051, jan./dez. 2024.

OLIVEIRA, R. F. V. **Análise de dois solos modificados com cimento para dimensionamento de pavimentos**. 186 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geotécnica) – Núcleo de Geotecnia da Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011.

OLIVEIRA JUNIOR, J. C. de. **Apostila de Pedologia UFPR**. Curitiba. Universidade Federal do Paraná, 2022.

OMIDO, A. R. Emprego de resíduos da construção civil em base de pavimentação asfáltica. **Contribuciones a Las Ciencias Sociales**, São José dos Pinhais, v. 17, n. 2, p. 01-25, 2024.

ORIOLI, M. A. Uso de agregado reciclado de resíduos de construção e demolição na estabilização de um solo siltoso melhorado com cimento para aplicação em base de pavimentos urbanos. 115 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2024.

PAULINO, R. S. et. al. Atualização do cenário da reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 2008-2020. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 23, n. 3, p. 83-97, 2023.

ROCHA, M. T.; REZENDE, L. R. Estudo laboratorial de um solo tropical granular estabilizado quimicamente para fins de pavimentação. **Revista Matéria**. Vol. 22. n 4. Goiânia, 2017.

SANTIAGO, C. C. **O solo como material de construção**. 2. ed. Salvador: EDUFBA, 2001. 72p.

SANTOS, J. O.; ARAÚJO, C. B. C.; AYRES, T. M. C. Análise da Utilização de RCD em Obras de Pavimentação na Cidade de Fortaleza. **Mix Sustentável**, Florianópolis, SC, v.5, n.3, p. 65-72, 2019.

SARTORI, G. **Estudo de estabilização de solos para fins de pavimentação na região de Campo Mourão**. 2015. 54 f. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2015.

SCHENINI, P. C.; BAGNATI, A. M. Z.; CARDOSO, A. C. F. Gestão de resíduos da construção civil. In: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário – COBRAC, 2004, Florianópolis. **Anais**. Florianópolis: UFSC, 2004.

SILVA, J. P. S. **Mecânica dos Solos**. 2015. 204 f. Apostila - Universidade Federal do Tocantins. Curso de Engenharia Civil, 2015.

SILVA, T. B.; BELLO, M. I. M. C.; FERREIRA, S. R. M. Comportamento geotécnico de um solo expansivo estabilizado com cinza de casca de arroz e cal hidratada. **Journal of Environmental Analysis and Progress**. v. 5, n. 2, p. 232-256, 2020.

TEBECHRANI NETO, A. et. al. Análise do comportamento de um solo sedimentar orgânico estabilizado com cal hidratada e cimento. In: Simpósio de Práticas de Engenharia Geotécnica da Região Sul, 12, 2019, Joinville. **Anais**. 2019.

XAVIER, J. M.; SOUZA NETO, J. B. S.; BANDEIRA, A. P. N. Estabilização de um solo para uso em camadas de pavimento utilizando resíduos de construção e demolição (RCD) e Cimento Portland. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 20. 2020, Campinas. **Anais**. São Paulo: COBRAMSEG, 2022.

YADAV, A.K., GAURAV, K., KISHOR. R. Stabilization of alluvial soil for subgrade using rice husk ash, sugarcane bagasse ash and cow dung ash for rural roads. **Int J Pavement Res Technol**, v. 10, ed. 3, p. 254-61, maio, 2017.

ZORZI, C. **Caracterização dos solos tropicais lateríticos para reforço de pavimentos**. 63 f. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade São Francisco, Itatiba, 2008.

4 CAPÍTULO 1 – ARTIGO 1

(Normas de acordo com a Revista Brasileira de Gestão e Sustentabilidade)

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE SOLO ESTABILIZADO COM RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL PARA APLICAÇÃO EM BASE E SUB-BASE DE PAVIMENTOS – ESTUDO DE CASO EM RIO VERDE - GO.

Gabrielle Souza Vieira¹, Bruno de Oliveira Costa Couto² e Isabela Christine de Paula Santos³.

¹Instituto Federal Goiano. Programa de Pós-graduação em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade. Campus Rio Verde. Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, Rio Verde-GO, Brasil (CEP 75901-970). E-mail: gabriellerv17@hotmail.com.

²Instituto Federal Goiano. Programa de Pós-graduação em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade. Campus Rio Verde. Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, Rio Verde-GO, Brasil (CEP 75901-970).

³ Universidade de Rio Verde. Campus Rio Verde. Fazenda Fontes do Saber, Rio Verde-GO, Brasil (CEP 75901-970).

Resumo. A construção civil é uma das principais fontes de resíduos sólidos no Brasil, gerando grandes volumes que causam impactos ambientais significativos. A destinação inadequada desses resíduos agrava o problema, exigindo soluções sustentáveis. Uma alternativa viável é a aplicação na pavimentação, especialmente na estabilização de solos argilosos, que possuem baixa resistência e alta expansividade. A incorporação de resíduos pode melhorar a plasticidade, a densidade e a capacidade de carga do solo. Este estudo busca avaliar a alteração das propriedades físicas e mecânicas de um solo argiloso da cidade de Rio Verde - GO estabilizado com diferentes porcentagens de RCC (25%, 50% e 75%). O solo utilizado foi coletado de uma obra de pavimentação e selecionado visto que as características não atenderam os requisitos exigidos pelas normas técnicas para aplicação em camadas de base e sub-base de pavimentos. Para isso, foram realizados ensaios de análise granulométrica, limite de liquidez e plasticidade, compactação e índice de suporte Califórnia (CBR). Os resultados indicaram que a adição de RCC ao solo

argiloso modificou as propriedades físicas, proporcionando melhoria significativa na resistência e estabilidade do material, atendendo aos requisitos normativos, especialmente na proporção de 75% de adição de RCC. Assim, conclui-se que a aplicação de RCC na estabilização de solos para aplicação em bases e sub-bases de pavimentos pode oferecer não apenas benefícios técnicos, mas também vantagens ambientais e econômicas, ao diminuir a necessidade de recursos naturais e reduzir o impacto dos resíduos no meio ambiente.

Palavras-chave: Resíduos. Estabilização de solo com RCC. Reciclagem. Resistência.

Abstract. Analysis of the mechanical properties of soil stabilized with construction waste for application in pavement base and sub-base. The construction industry is one of the main sources of solid waste in Brazil, generating large volumes that cause significant environmental impacts. The improper disposal of this waste worsens the issue, demanding sustainable solutions. A viable alternative is its application in pavement construction, especially in the stabilization of clayey soils, which have low strength and high expansibility. The waste incorporation can improve the soil's plasticity, density, and load-bearing capacity. This study aims to evaluate changes in the physical and mechanical properties of a clayey soil from the city of Rio Verde-GO stabilized with different percentages of construction and demolition waste (CDW) — 25%, 50%, and 75%. The soil used was collected from a pavement construction site and selected due to its characteristics of not meeting the technical standards required for use in pavement base and sub-base layers. To this end, tests were carried out for particle size analysis, liquid and plastic limits, compaction, and California Bearing Ratio (CBR). The results indicated that the CDW addition to the clayey soil altered its physical properties, significantly improving the material's strength and stability, meeting the normative requirements — especially with 75% CDW addition. Thus, it is concluded that using CDW in soil stabilization for pavement base and sub-base applications can offer not only technical benefits but also environmental and economic advantages by reducing the need for natural resources and minimizing the environmental impact of waste.

Keyword: Waste. Stabilization. Recycling. Resistance.

4.1 Introdução

O setor da construção civil é uma das maiores fontes de resíduos sólidos no Brasil. Segundo o relatório divulgado pela ABREMA (2023), estima-se que foram geradas a cerca de 45 milhões de toneladas de resíduos de construção civil e demolição no país. Essa quantidade significativa de resíduos representa um desafio considerável para a gestão ambiental, ocupando grandes volumes em aterros sanitários e gerando impactos negativos no meio ambiente.

Thongkamsuk *et al.* (2017) relatam que os resíduos de construção civil (RCC) constituem de 13% a 30% do total de resíduos sólidos em aterros globalmente. Esses resíduos tendem a ser mais volumosos, pesados e, por vezes, mais tóxicos do que os resíduos domésticos. Embora o descarte desses resíduos em aterros sanitários locais ou lixões possa parecer uma solução imediata, na realidade, isso pode piorar os impactos ambientais a longo prazo.

Diante dos crescentes desafios relacionados ao manejo inadequado de RCC, foi estabelecida a Resolução CONAMA nº 307 (2002). Esta norma foi formulada para enfrentar as questões ambientais associadas à geração e disposição desses resíduos, promovendo práticas mais sustentáveis ao estabelecer diretrizes para a separação, armazenamento e destinação adequada de RCC, além de incentivar a reutilização e reciclagem, visando reduzir os impactos ambientais negativos e incentivar a implementação de práticas mais ecológicas e responsáveis na construção civil.

A aplicação de RCC na construção de pavimentos é uma das áreas de interesse para o reaproveitamento desses materiais. A utilização de resíduos em pavimentação pode melhorar a durabilidade e a performance das vias, além de oferecer uma solução sustentável para a gestão de resíduos. A incorporação de resíduos em solos para pavimentação pode transformar os resíduos em um recurso valioso, contribuindo para a construção de infraestruturas mais resilientes e ambientalmente responsáveis (Sousa; Balduino, 2019).

No contexto dos solos, a estabilização de solos argilosos com adição de RCC tem ganhado destaque por causa dos desafios típicos desses solos. Solos argilosos são conhecidos pela alta plasticidade e baixa capacidade de carga, e pode comprometer a estabilidade e a durabilidade de pavimentos e outras estruturas. A adição de resíduos de

construção pode melhorar significativamente as propriedades físicas e mecânicas desses solos (Nicolau; Barbosa, 2023).

A presença de RCC em solos argilosos pode modificar a distribuição do tamanho das partículas e alterar a plasticidade do solo. A mistura de resíduos com o solo argiloso pode reduzir a expansão e a contração do solo, características indesejáveis que frequentemente causam danos às infraestruturas. Além disso, a incorporação de RCC pode aumentar a densidade e a capacidade de carga do solo, resultando em um material mais estável e durável (Barreto; Amorim, 2020).

O objetivo deste estudo é analisar as propriedades mecânicas de um solo argiloso quando estabilizado com diferentes proporções de RCC, identificando a proporção ideal para obter os melhores resultados em termos de resistência, desempenho e sustentabilidade. A análise dos dados permitirá compreender a interação entre o solo argiloso e os resíduos de construção, contribuindo para o desenvolvimento de práticas mais eficientes e ecológicas na engenharia civil.

4.2 Materiais e Métodos

4.2.1 *Materiais*

4.2.1.1 *Solo*

Para o presente estudo, foi selecionado um solo coletado em uma obra de pavimentação, do viaduto Marco Polo de Freitas Vale e Silva Kuhn, no município de Rio Verde – GO, nas seguintes coordenadas geográficas: 17°49'11.219"S e 50°56' 26.070" W, conforme localização apresentada na Figura 1.

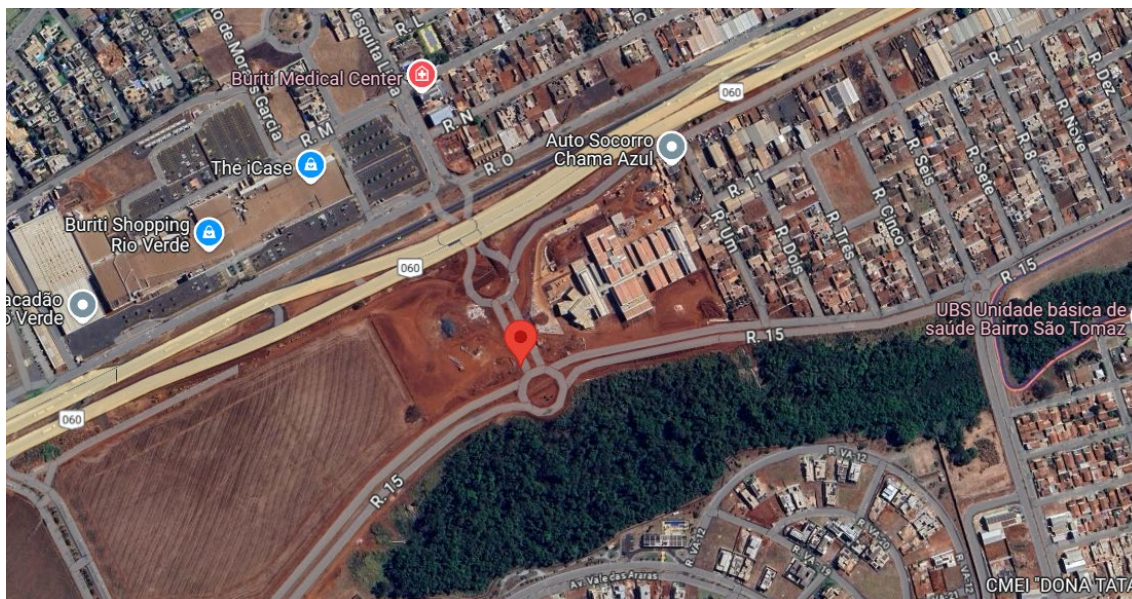


Figura 1. Localização do solo pelo Google Maps (2025).

O solo utilizado foi selecionado em função da não conformidade das características geotécnicas com as normativas, para aplicação direta em camadas de base e sub-base de pavimentos, sendo necessário a adoção de técnicas para aprimorar as propriedades mecânicas. Desse modo, a escolha desse solo é justificável pela necessidade de investigar métodos viáveis e sustentáveis para a melhoria, com o intuito de viabilizar a utilização na infraestrutura rodoviária, diminuindo custos e impactos ambientais relacionados à substituição por materiais convencionais.

4.2.1.2 Resíduo de Construção Civil

O resíduo de construção civil (RCC) utilizado neste estudo foi o BGR (Britagem Grossa Reciclada), Figura 2, fornecido pela empresa RNV-Gestão de Resíduos, que opera na coleta, triagem e reciclagem de materiais provenientes de obras civis na cidade de Goiânia-GO.



Figura 2. BGR fornecido pela empresa RNV-Resíduos, 2024.

A escolha do BGR para esta pesquisa ocorreu em razão do material ser especificamente preparado para a aplicação em camadas de base e sub-base de pavimentos. Este material foi selecionado com a finalidade de avaliar se realmente oferece benefícios ao solo, contribuindo para o aumento da resistência e estabilidade, aspectos essenciais para a durabilidade e funcionalidade dos pavimentos.

Os resíduos mistos foram coletados em caçambas pela empresa, que realiza a separação dos materiais com potencial de reaproveitamento, sendo eles constituídos predominantemente por concreto, tijolos cerâmicos e argamassas. Após a triagem, o material foi triturado em um triturador mecânico automático até atingir a granulometria adequada para os produtos fornecidos pela empresa: Rachão, Brita 1, Brita 0 e Areia Reciclada.

O BGR é um material resultante da mistura de Brita 0, Brita 1 e Areia Reciclada, recomendado para diversas aplicações, incluindo base e sub-base de pavimentação de vias, reforço de subleito, base e sub-base de pátios industriais, aterros e acertos topográficos, além de melhoria das condições de rolamento de estradas não pavimentadas (RNV Resíduos, 2021).

4.2.2 Métodos

Inicialmente, foi conduzida uma revisão abrangente da literatura para investigar as propriedades dos resíduos de construção civil e as vantagens potenciais da aplicação

na estabilização de solos argilosos. Essa revisão visou aprofundar o conhecimento sobre o comportamento do RCC como aditivo em misturas de solo e identificar informações relevantes sobre as características e os benefícios do compósito formado.

Com base nos resultados da pesquisa bibliográfica, foi desenvolvido e implementado um programa experimental para avaliar a eficácia do RCC na estabilização de solos. O programa experimental seguiu o fluxograma apresentado na Figura 3.

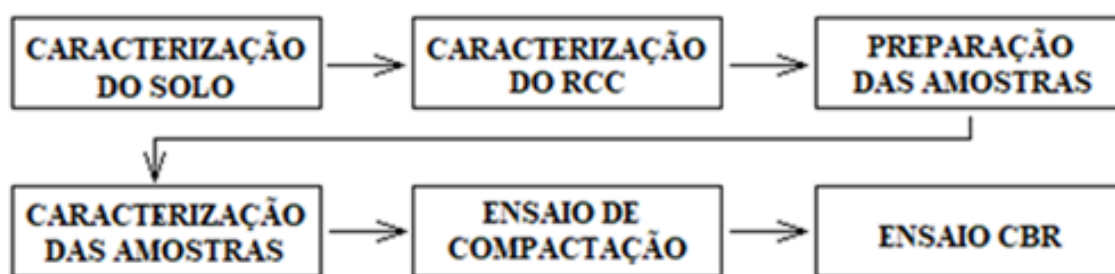


Figura 3. Estrutura de pesquisa.

4.2.2.1 Caracterização do Solo

As amostras de solo foram preparadas, conforme as especificações estabelecidas pela NBR 6457 (ABNT, 2024), que direciona o preparo de amostras para análise. A caracterização do solo incluiu a execução dos seguintes ensaios:

- Massa Específica dos Grãos: realizado conforme a NBR 6458 (ABNT, 2016);
- Análise Granulométrica: realizada de acordo com NBR 7181 (ABNT, 2018);
- Determinação do Limite de Liquidez: realizada conforme a NBR 6459 (ABNT, 2017);
- Determinação do Limite de Plasticidade: realizada de acordo com a NBR 7180 (ABNT, 2016);
- Difratomia de raios X (DRX);
- Fluorescência de raios X (FRX);
- Microscopia eletrônica de Varredura (MEV).

Os ensaios de massa específica dos grãos, granulometria e limites de Atterberg foram realizados no laboratório da empresa Betusolos, especializada em ensaios de controle tecnológico em solos, pavimentação asfáltica e concreto.

Os ensaios de DRX, FRX e MEV foram realizados pelo CRTI (Centro Regional para o Desenvolvimento Tecnológico e Inovação) da UFG (Universidade Federal de

Goiás) em Goiânia, para analisar a composição mineralógica do solo e possibilitar a classificação em laterítico ou não laterítico, conforme diretrizes da AGETOP (2002).

4.2.2.2 Caracterização do RCC

Para a caracterização do resíduo de construção civil, foram realizados os seguintes ensaios:

- Análise granulométrica, de acordo com a NBR 17054 (ABNT, 2022);
- Análise gravimétrica, conforme orientações do Manual de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (IBAM, 2001) e diretrizes da NBR 10007 (ABNT, 2004);
- Índice de degradação IDP, segundo DNER-M162/94 (DNER, 1999);
- Fluorescência de raios X (FRX).

O ensaio de análise granulométrica foi realizado pela empresa Betusolos. Já os ensaios de peso específico dos grãos, análise gravimétrica e índice de degradação para caracterização do RCC foram realizados no laboratório de geotecnia da Universidade de Rio Verde (UNIRV).

4.2.2.3 Preparação das Amostras para os ensaios de compactação e CBR

Foram preparadas quatro amostras, sendo uma de solo natural e as demais com adições de RCC em diferentes proporções. A amostra de solo natural foi composta exclusivamente pelo solo argiloso coletado na região de Rio Verde-GO, sem adição de resíduos, servindo como referência para comparar as alterações nas propriedades do solo quando estabilizado com RCC. As outras três amostras foram preparadas com a adição de RCC nas proporções apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Porcentagens de substituição.

Amostras	Solo (%)	RCC (%)
1	100	-
2	75	25
3	50	50
4	25	75

O processo de preparação envolveu a mistura homogênea do solo com as diferentes quantidades de RCC, garantindo que as amostras tivessem propriedades

consistentes e representativas das condições que seriam analisadas nos ensaios (Figura 4). Essas amostras foram, então, utilizadas para os ensaios de caracterização e resistência, com o objetivo de avaliar o impacto da adição de RCC nas propriedades mecânicas do solo.



Figura 4. Amostras de solo com adição de RCC. a) 25% de adição; b) 50% de adição; c) 75% de adição. (Fonte: Autoria própria, 2025).

Para a caracterização das amostras, foi realizado o ensaio de granulometria, realizada conforme a NBR 7181 (ABNT, 2018), com o objetivo de analisar a distribuição das partículas e compreender a composição do material em diferentes faixas granulométricas. Os ensaios de limite de liquidez e limite de plasticidade não puderam ser determinados por causa da elevada presença de materiais inertes, como fragmentos de concreto, cerâmica e outras partículas não coesivas. Esses materiais comprometeram a formação da estrutura plástica necessária para a realização dos ensaios, indicando um comportamento predominantemente granular das misturas estudadas.

4.2.2.4 Ensaio de compactação

O ensaio de compactação do solo foi realizado conforme a NBR 7182 (ABNT, 2020), utilizando o molde grande e a energia intermediária de compactação, com um soquete grande de 4,5 kg, aplicando 26 golpes por camada, em 3 camadas. A energia intermediária foi adotada seguindo as especificações da GOINFRA (2019).

Para cada uma das 4 amostras (solo natural, 25%, 50% e 75% de adição de RCC), foram preparadas 5 variações de umidade: duas amostras no ramo seco, duas no ramo úmido e uma com umidade ótima. Após a compactação, o solo foi retirado do molde e a massa e umidade do solo foram medidas, permitindo o cálculo da densidade máxima seca, com o objetivo de determinar a umidade ótima de compactação.



Figura 5. Ensaio de compactação. (Fonte: Autoria própria, 2025).

4.2.2.5 Ensaio de CBR

O ensaio de Índice de Suporte Califórnia (CBR) foi realizado para avaliar a capacidade de suporte e a resistência do solo com adição de diferentes proporções de resíduos de construção civil (RCC), conforme a NBR 9895 (ABNT, 2017). O procedimento seguiu as orientações da norma, e as amostras preparadas foram compactadas em cinco teores de umidade diferentes, conforme previamente determinado no ensaio de compactação. Após a compactação, as amostras foram submersas em água por 96 horas para simular condições de saturação (Figura 6), sendo então medidas as expansões resultantes.



Figura 6. Submersão dos corpos-de-prova por 96h para ensaio de CBR. (Fonte: Autoria própria, 2025).

Em seguida, cada amostra foi submetida a um carregamento vertical em um cilindro padrão, utilizando um pistão que aplica uma carga crescente sobre o solo compactado (Figura 7). Durante o ensaio, foram registradas as deformações do solo em função das cargas aplicadas, até atingir 2,5 mm e 5,0 mm de penetração, que são os parâmetros de interesse para o cálculo do índice CBR.



Figura 7. Ensaio de rompimento dos corpos-de-prova CBR. (Fonte: Autoria própria, 2025).

Os valores de resistência foram comparados com a curva padrão do solo de referência, e o índice de suporte foi obtido em porcentagem, indicando a resistência relativa do solo ensaiado em comparação ao material de referência.

4.3 Resultados e discussão

4.3.1 *Massa específica dos grãos*

Os resultados de massa específica obtidos para o solo natural, RCC e para as misturas com diferentes teores estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Massa específica dos grãos.

Amostra	Massa Específica (kg/m ³)
Solo Natural	1736
Solo + 25% de RCC	1772
Solo + 50% de RCC	1790
Solo + 75% de RCC	1823

Observa-se que a adição de RCC resultou em aumento progressivo da massa específica dos grãos, variando de 1736 kg/m³ no solo natural para 1823 kg/m³ na mistura com 75% de RCC. Esse comportamento pode ser atribuído à presença de partículas de maior densidade no RCC, especialmente fragmentos de concreto e argamassa, que possuem massa específica superior às frações finas predominantes no solo natural.

Além disso, o aumento da massa específica dos grãos indica a redução da porosidade do material, fator que pode influenciar positivamente na resistência mecânica e na capacidade de suporte do solo estabilizado.

4.3.2 Análise Gravimétrica do RCC

Os resultados do ensaio de análise gravimétrica estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Análise gravimétrica.

Material	Quantitativo (%)
Concreto	6,53
Material cerâmico	18,62
Argamassa	31,71
Material fino	43,14

Observa-se que o material fino (passante pela peneira de nº 4) foi o constituinte predominante, representando 43,14% da massa da amostra. Essa predominância pode estar associada ao elevado grau de fragmentação dos resíduos durante o processo de britagem, além da presença de partículas pulverulentas provenientes principalmente da degradação de argamassas e revestimentos.

A argamassa aparece como o segundo constituinte mais expressivo, com 31,71%. Essa fração é composta por resíduos de revestimentos, rebocos e restos de chapisco. Por suas características físicas e granulométricas mais finas, a argamassa tende a desagregar facilmente, contribuindo para o aumento do teor de finos na mistura.

O material cerâmico, com 18,62%, engloba restos de tijolos, telhas, blocos e cerâmica. Apesar de maior rigidez e resistência, os fragmentos cerâmicos são mais friáveis e quebradiços, podendo melhorar o atrito interno da mistura, mas também contribuir para a geração de partículas menores se não houver controle adequado do processo de britagem.

O concreto, por sua vez, representa apenas 6,53% da amostra, sendo a menor fração entre os componentes. Esse percentual reduzido pode estar relacionado à origem

do RCC — possivelmente mais voltado a resíduos de acabamento do que de demolição estrutural — ou à separação prévia de agregados mais densos.

4.3.3 Fluorescência de Raios X (FRX)

O ensaio de FRX foi realizado com o objetivo de identificar a composição química do solo e do RCC, para a análise qualitativa e quantitativa dos elementos presentes. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Análise química dos óxidos maiores, Laboratório CRTI, 2025.

Óxidos Analisados (%)	Amostras analisadas	
	Solo	RCC
SiO ₂	54,15	63,03
TiO ₂	4,85	0,81
Al ₂ O ₃	14,66	8,54
FeO ₃	16,56	4,14
MnO	< limite quantificável	< limite quantificável
MgO	0,16	1,11
CaO	0,16	10,66
Na ₂ O	< limite quantificável	0,69
K ₂ O	< limite quantificável	0,97
P ₂ O ₅	< limite quantificável	< limite quantificável
SO ₃	< limite quantificável	0,76
LOI	8,72	9,84
Soma	99,27	100,54

De acordo com as especificações técnicas da AGETOP (2002), um dos fatores para determinar se o solo é de natureza laterítica baseia-se na determinação das relações sílica-alumina e sílica-sesquióxidos (Equação 1), em que a razão S/R menor que 2 indica que o solo é considerado de natureza laterítica.

Equação 1:

$$\frac{S}{R} = \frac{\frac{SiO_2}{60}}{\frac{Al_2O_3}{102} + \frac{Fe_2O_3}{160}}$$

Desenvolvendo:

$$\frac{S}{R} = \frac{\frac{54,16}{60}}{\frac{14,66}{102} + \frac{16,56}{160}}$$

$$\frac{S}{R} = 3,725$$

Com base no resultado obtido para a razão R/S, cujo valor foi de 3,725, conclui-se que o solo analisado não pode ser classificado como laterítico, pois o valor encontrado indica uma composição química não compatível com os critérios característicos desse tipo de solo.

Em relação ao ensaio de FRX realizado para a amostra de RCC, observa-se que o resíduo é majoritariamente composto por sílica (SiO_2), com teor de 63,03%, seguido por óxidos de alumínio (Al_2O_3 – 8,54%) e cálcio (CaO – 10,66%). Esses resultados indicam a predominância de materiais cerâmicos e cimentícios, especialmente fragmentos de tijolos, telhas e restos de concreto e argamassa. A presença de óxidos de ferro (Fe_2O_3 – 4,14%) também reforça a contribuição de cerâmica vermelha. O valor da perda ao fogo (LOI) de 9,84% sugere a existência de materiais finos, como traços de solo e matéria orgânica.

4.3.4 Difratometria de Raios X (DRX)

O ensaio de Difração de Raios X (DRX) foi realizado na amostra de solo com o objetivo de identificar a presença de argilas expansivas, com ênfase na argila montmorilonita. Conforme o Manual de Pavimentação da AGETOP (2002), a classificação de um solo como laterítico também está condicionada à completa ausência de minerais do grupo das montmorilonitas.

O procedimento foi realizado pelo laboratório do CRTI e, a partir do diagrama obtido, realizou-se o refinamento de Rietveld utilizando o software GSAS II, onde foram detectados picos correspondentes ao das argilas montmorilonita, illita e caulinita, conforme apresentado na Figura 8.

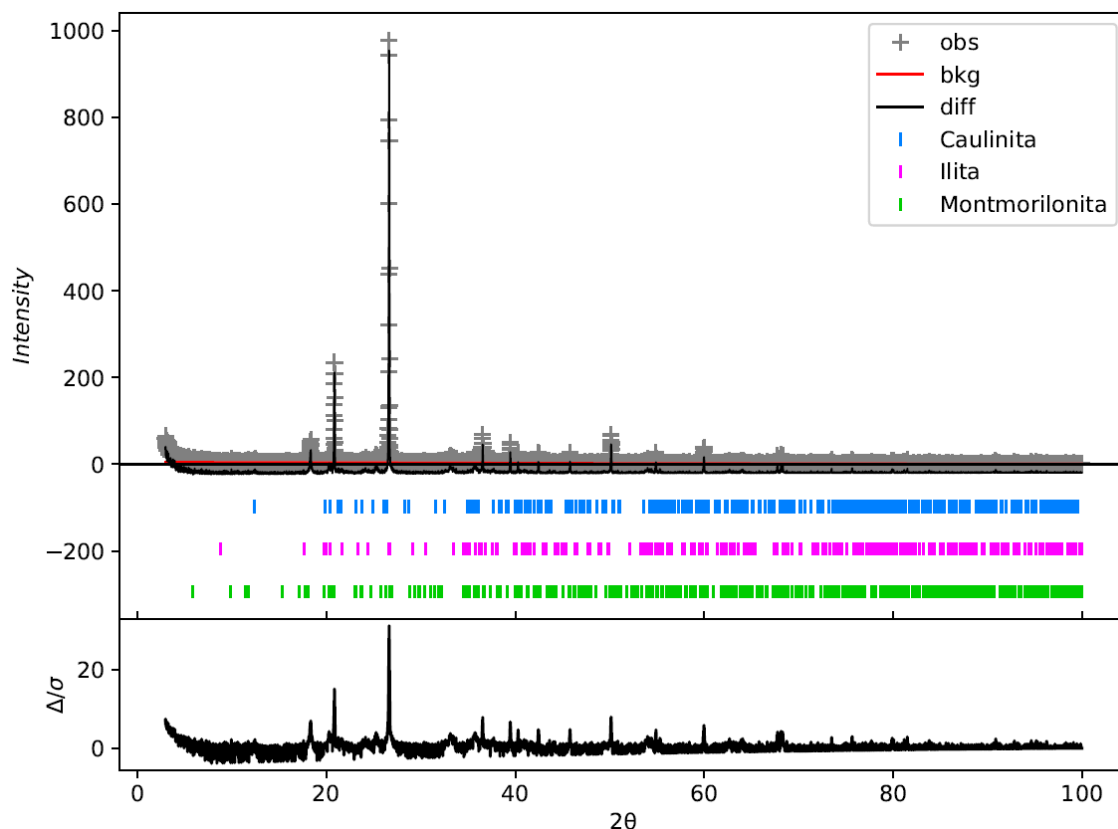


Figura 8. Refinamento de Rietveld – GSAS II. (Fonte: Autoria própria, 2025).

A presença de montmorilonita reforça a classificação do solo como não laterítico, uma vez que esse tipo de argila não é característico de solos lateríticos, que são, em geral, mais ricos em óxidos de ferro e alumínio e pobres em minerais expansivos.

Segundo Moraes (2017), a presença de montmorilonita confere ao solo uma alta expansibilidade, devido à sua capacidade de absorção de água. Esse comportamento pode ocasionar variações volumétricas significativas em função da umidade, o que influencia diretamente na estabilidade do solo e em sua aplicação como material de pavimentação. Por outro lado, a caulinita e illita, também identificadas, possuem uma estrutura mais resistente à penetração de água nas camadas, sendo classificadas como não expansivas quando em processo de saturação. Sendo assim, a presença de caulinita e illita tende a atenuar o comportamento expansivo do solo, contribuindo para uma maior estabilidade dimensional.

4.3.5 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A análise morfológica da amostra de solo foi realizada por meio de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) com aumento de 800x, como mostrado na Figura 8.

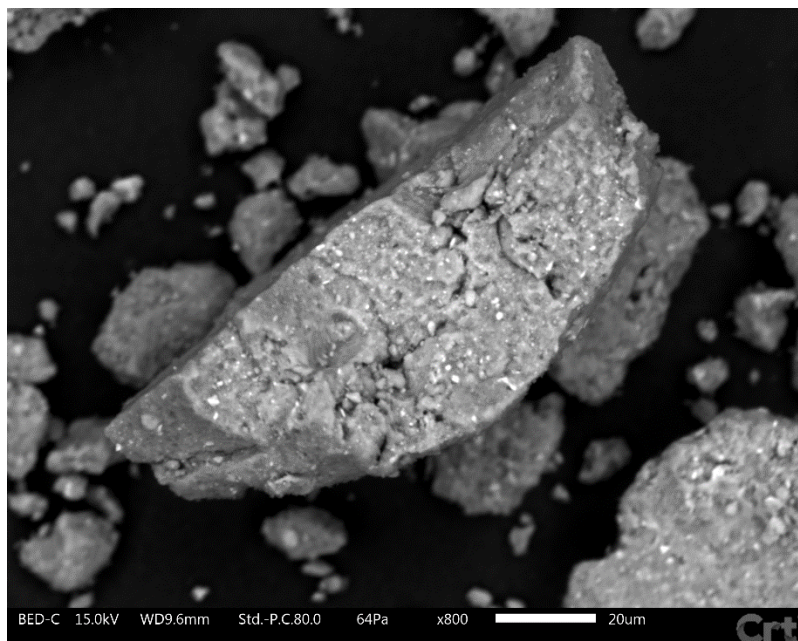


Figura 8. Ensaio de Microscopia Eletrônica de Varredura do solo, Laboratório CRTI, (2025).

Observa-se que os grãos apresentam morfologia irregular, com formas angulares e presença de aglomerações, indicando uma estrutura heterogênea típica de solos naturais não tratados. As superfícies das partículas mostram uma textura rugosa e compacta, e pode estar relacionado à presença de partículas finas e cimentação parcial entre os grãos.

Notam-se também pontos brilhantes dispersos sobre as superfícies das partículas, sugerindo a presença de minerais com maior densidade eletrônica, possivelmente óxidos metálicos ou compostos com elementos como ferro (Fe) e titânio (Ti). Essa hipótese é corroborada pelo mapeamento químico por espectroscopia associada (Figura 9), que mostra a distribuição espacial de elementos químicos predominantes na amostra.

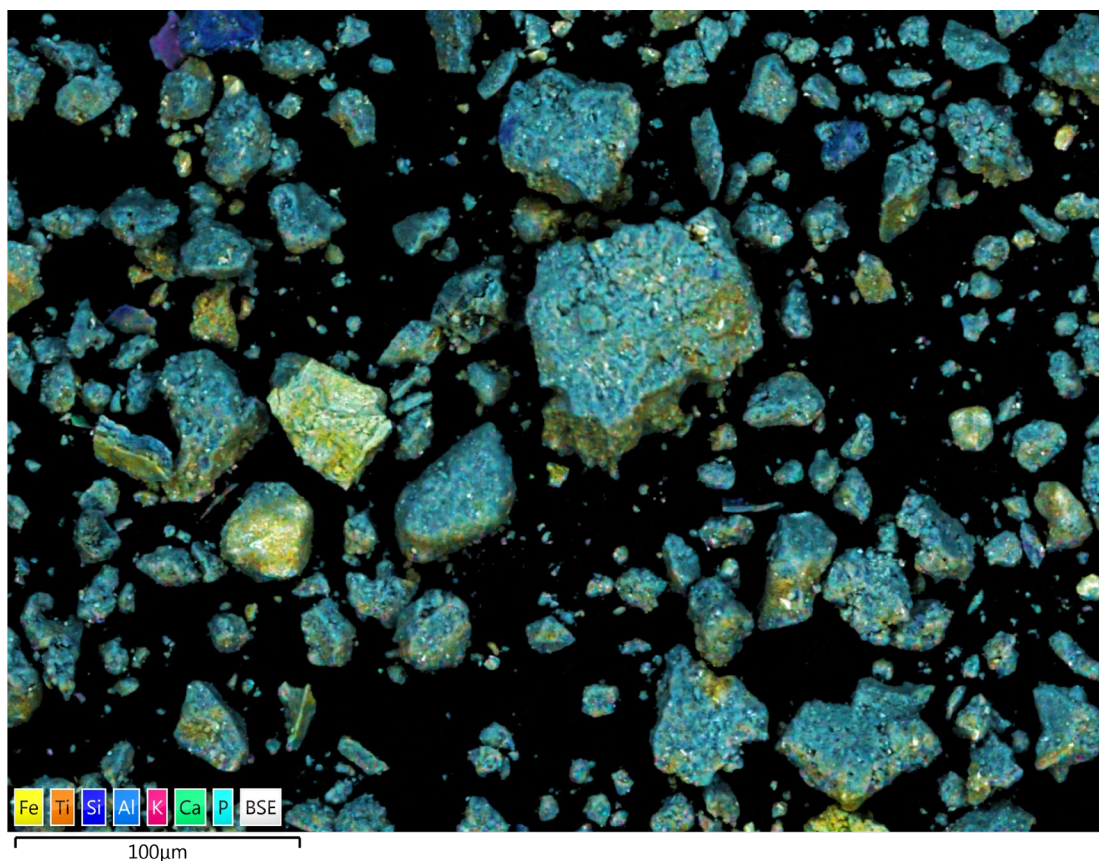


Figura 9. Mapa composicional da amostra de solo, Laboratório CRTI, (2025).

O mapeamento de elementos revelou uma significativa presença de Fe, Si, Al, Ca, Ti e K. O ferro aparece distribuído de maneira relativamente homogênea, podendo indicar a presença de minerais lateríticos ou óxidos de ferro. A sílica (Si) e o alumínio (Al), por sua vez, são compatíveis com a presença de caulinita e quartzo, minerais comuns em solos argilosos. O cálcio (Ca) e o fósforo (P) podem estar associados à presença de fragmentos de origem orgânica ou fosfatos.

4.3.6 Índice de degradação IDP do RCC

A Tabela 5 apresenta os resultados do ensaio de índice de degradação, após compactação Proctor.

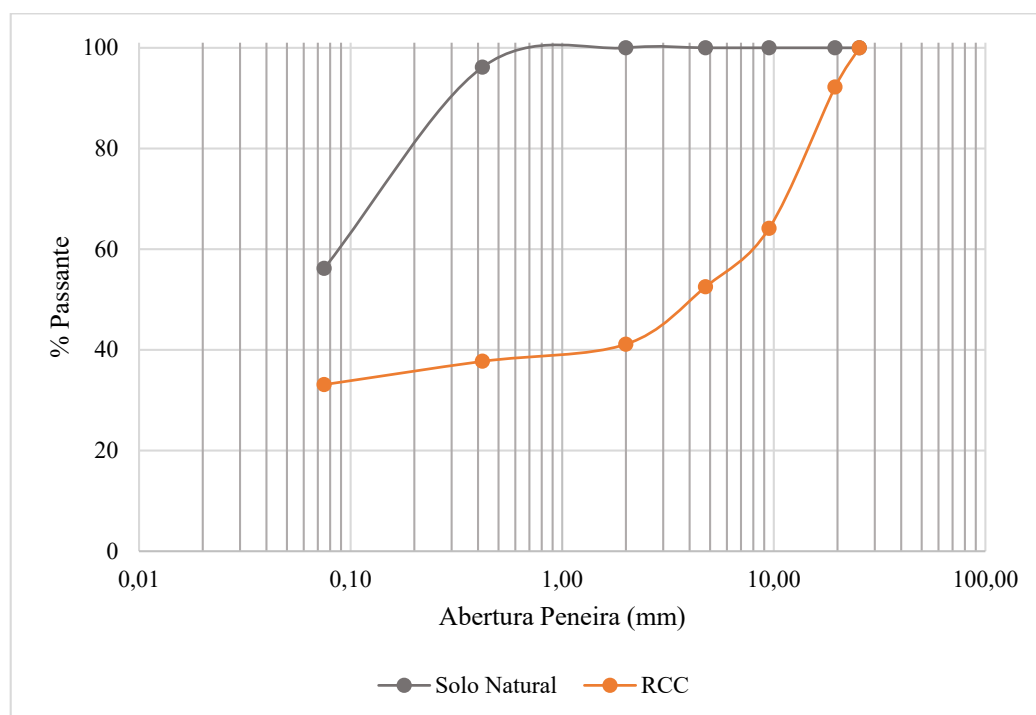
Tabela 5. Índice de degradação, após compactação Proctor (RCC).

Peneira	Granulometria original padronizada (%)	Granulometria Média após compactação (%)	D (%)
19	85	93,70	10,24
9,5	65	75,16	15,62
nº 4	50	60,81	21,62
nº 10	35	44,80	28,00
nº 40	20	27,93	39,64
nº 200	5	3,29	-34,21
		Total	80,90
		ID	13,48%

O resultado obtido de IDP para o resíduo de construção civil foi igual a 13,48%, valor superior ao recomendado de 6% para aplicação em camadas de base de pavimentação, conforme critérios técnicos estabelecidos pelos manuais de pavimentação (IPR, 1998). Esse valor indica que o RCC apresenta baixa resistência à degradação, podendo comprometer a estabilidade e durabilidade dos pavimentos estabilizados granulometricamente com esse material.

4.3.7 Análise granulométrica do solo e RCC

O gráfico da Figura 10 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de análise granulométrica do solo natural e do RCC.

**Figura 10.** Gráfico das curvas granulométrica do Solo e do RCC.

O ensaio de análise granulométrica do solo revela uma curva característica de solo de graduação contínua, em que a amostra é composta predominantemente por partículas finas, sem retenção em peneiras com abertura superior a 2 mm. Apenas 3,84% ficaram retido na peneira de 0,42 mm (areia média). Do material passante, 39,98% ficaram retido na peneira de 0,075 mm, enquanto 56,18% passaram, indicando alto teor de silte e argila NBR 6502 (ABNT, 2022).

Por outro lado, o RCC apresenta partículas mais granulares, com 58,9% de material retido entre as peneiras de 2 a 19,5 mm (pedregulho). Há também uma fração considerável de finos, com 3,4% retidos na peneira com abertura de 0,42 mm (areia média), 4,6% retidos na peneira de 0,075 mm (silte) e 33,1% acumulados no fundo (argila).

4.3.8 Análise granulométrica do solo com adição de RCC

O gráfico da Figura 11 apresenta os resultados obtidos da análise granulométrica das misturas de solo com diferentes proporções de RCC (25%, 50% e 75%).

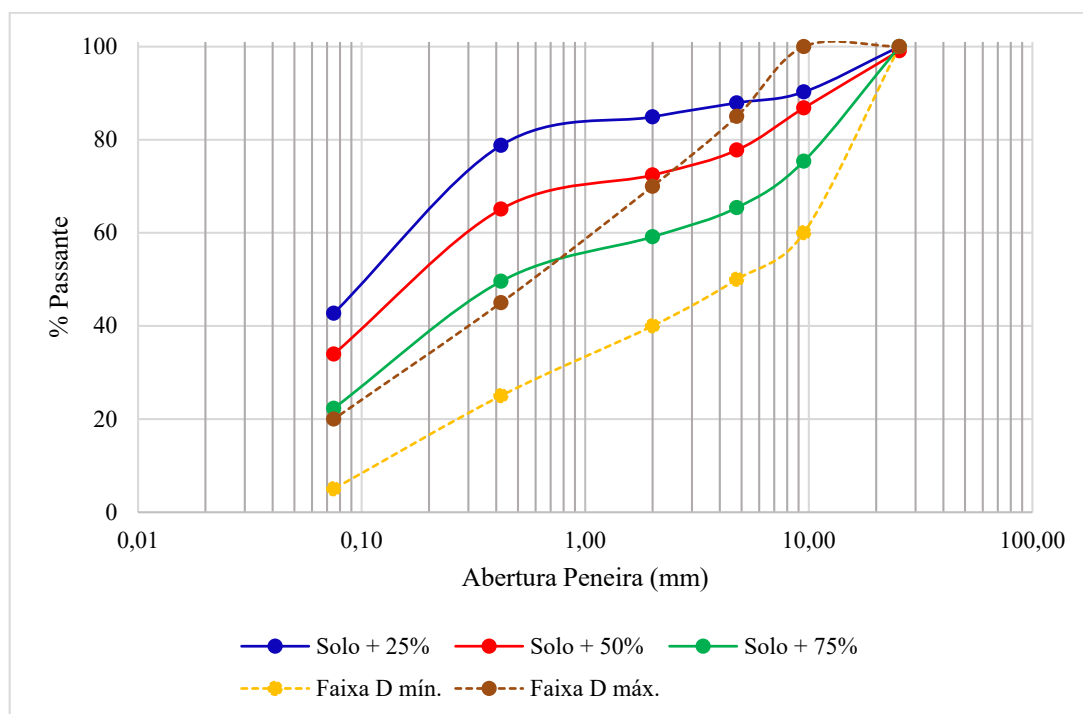


Figura 11. Gráfico de análise granulométrica do solo com adição de RCC.

Observa-se que a adição de RCC altera significativamente a distribuição granulométrica, apresentando uma curva característica mais próxima de um material bem graduado, conforme aumenta o teor de RCC.

Na composição com 25% de RCC, observa-se que 84,91% do material passou pela peneira de 2 mm, o que indica uma predominância de partículas finas. O valor de 42,71% passante na peneira de 0,075 mm (ou 0,08 mm) reforça essa característica, evidenciando que uma parcela significativa do material se encontra na fração fina, típica de solos coesivos, e pode implicar maior plasticidade e menor permeabilidade.

Na mistura com 50% de RCC, a quantidade de material fino reduz de forma notável. Apenas 72,42% passaram pela peneira de 2 mm e 33,96% pela peneira de 0,075 mm. Esse comportamento indica aumento relativo na fração arenosa e redução da coesão da mistura.

Com o teor de 75% de RCC, a distribuição granulométrica evidencia ainda mais a presença de partículas graúdas. Apenas 59,15% do material passou pela peneira de 2 mm e 22,30% pela peneira de 0,075 mm. Isso mostra a redução expressiva na fração fina e maior concentração de agregados graúdos, e pode beneficiar as propriedades mecânicas da mistura, como a resistência e capacidade de suporte, mas pode também comprometer a trabalhabilidade e a compactação se não houver um controle adequado da curva granulométrica.

A norma ES-PAV 002 (GOINFRA, 2019), propõe faixas granulométricas de referência para composição de bases estabilizadas granulometricamente. No gráfico da Figura 8, são destacados os limites mínimo e máximo da Faixa D, sendo a única faixa, que alguma das amostras avaliadas, atendeu aos critérios.

Observa-se que apenas a amostra com 75% de adição de RCC enquadrhou-se nos limites estabelecidos para essa faixa. Ressalta-se ainda, que essas faixas são apenas sugestões, não sendo obrigatórias, desde que o material atenda aos parâmetros técnicos definidos em projeto.

4.3.9. Limite de Liquidez e Plasticidade

Os ensaios de limite de liquidez e limite de plasticidade foram realizados para avaliar o comportamento do solo natural em função do teor de umidade. Os resultados

indicaram limite de liquidez de 35,8%, um limite de plasticidade de 16,9% e, consequentemente, um índice de plasticidade de 18,9%. Esses valores demonstram que o solo apresenta um comportamento coesivo, o que pode influenciar diretamente a capacidade de compactação e suporte de cargas quando empregado em pavimentos.

A norma ES-PAV 002 (GOINFRA, 2019) estabelece os parâmetros que devem ser atendidos para uso de materiais em bases de pavimentação, determinando que o limite de liquidez (LL) deve ser igual ou inferior a 25% e o índice de plasticidade (IP) deve ser igual ou inferior a 6%. No entanto, observa-se que o solo natural analisado não atende a esses requisitos, apresentando valores superiores aos limites especificados.

Nas amostras com adições de RCC, não foi possível determinar os limites de liquidez e plasticidade devido à elevada presença de materiais inertes, tornando-o um material não plástico (NP). Dessa forma, pode-se considerar que a incorporação do RCC ao solo natural contribuiu, de forma indireta, que o material atendesse aos critérios estabelecidos na normativa.

Esse comportamento sugere que a incorporação de RCC pode resultar em um material com menor susceptibilidade à variação de umidade e maior estabilidade volumétrica, características desejáveis para camadas de base e sub-base de pavimentos.

4.3.10. Ensaio de compactação

Os ensaios de compactação foram realizados com a amostra de solo natural e as misturas com diferentes proporções de RCC. O gráfico da Figura 12 apresenta os resultados obtidos para cada amostra.

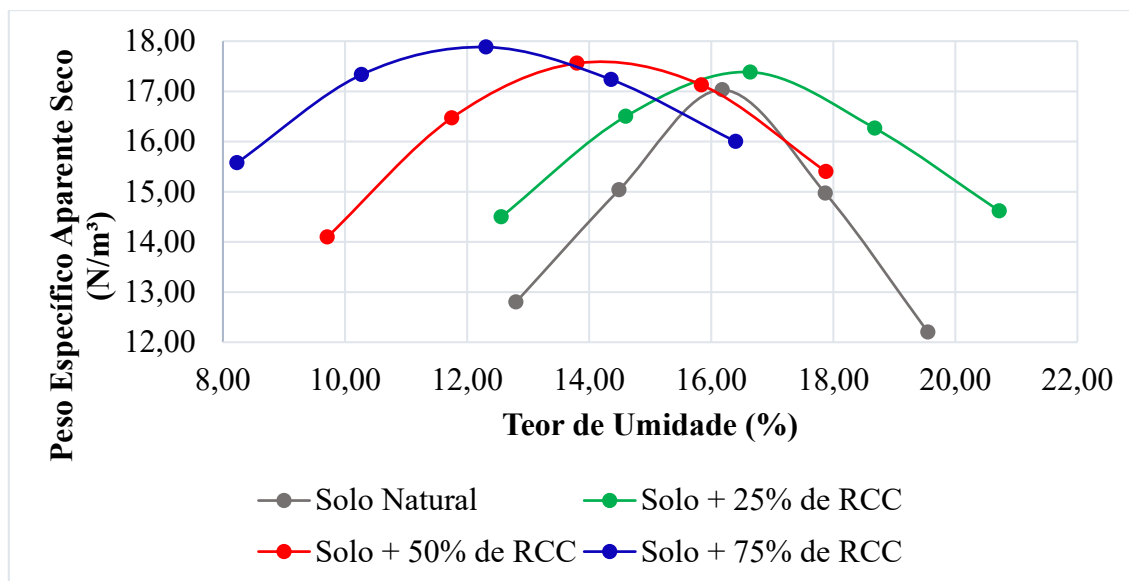


Figura 12. Curvas de Compactação para as Misturas de Solo e RCC.

Observa-se que as curvas são mais altas e deslocam-se para a esquerda, conforme aumenta a porcentagem de RCC. Isso indica que a adição do resíduo ao solo proporcionou a redução da umidade ótima das misturas para atingir a compactação ideal. Esse fato está associado à presença de partículas mais granulares no RCC, com maior peso específico aparente seco e menor capacidade de retenção de água em comparação ao solo argiloso. Essa diminuição da umidade ótima é conveniente para solos argilosos, que naturalmente apresentam alta retenção de água, sendo susceptível à expansão.

4.3.11. Ensaio de CBR

A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos através do ensaio de Índice de Suporte Califórnia (CBR) dos corpos-de-prova preparados com o solo natural e com adições de RCC.

Tabela 6. Resultados de CBR.

Amostra	Resultados de CBR (%)	Resultados de Expansividade (%)
Solo Natural	25,70	0,26
Solo + 25% de RCC	76,50	0,01
Solo + 50% de RCC	86,81	0,02
Solo + 75% de RCC	126,45	0,00

Analisando a Tabela 6, observa-se aumento nos valores de CBR, e consequentemente, a redução da expansividade à medida que se adiciona o resíduo de

construção civil ao solo, atingindo um CBR de 126,25% na amostra com 75% de adição de RCC.

De acordo com as diretrizes do ES-PAV 002 (GOINFRA, 2019), o material para aplicação em base estabilizada granulometricamente deve atender ao valor mínimo de CBR maior ou igual a 60% para tráfego leve a moderado, e ISC maior ou igual a 80% para tráfego pesado, além da expansividade que não deve ser superior a que 0,5%.

Para aplicação em sub-base de pavimentos, a normativa ES-PAV 002 (GOINFRA, 2019), estabelece que o valor do CBR seja igual ou superior a 20% e a expansão deve ser igual ou maior que 1%.

Ao comparar os resultados obtidos no ensaio de CBR com os limites estabelecidos pelas normativas, constata-se que apenas a amostra com 25% de adição de RCC não atende ao CBR mínimo para aplicação em base de pavimentos de tráfego pesado. No entanto, pode ser utilizada em pavimentos de tráfego leve a moderado e em camadas de sub-bases.

As amostras com adição de 50 e 75% de RCC apresentaram valores satisfatórios de CBR e expansão, sendo adequadas para uso tanto em camadas de base, quanto em sub-bases de pavimentos.

4.4 Conclusões

Os ensaios de caracterização do solo estudado permitiram classificá-lo como um solo argiloso, com propriedades que, em seu estado natural, limitam a aplicação em camadas de base e sub-base de pavimentos. Contudo, a adição de resíduos da construção civil promoveu melhorias significativas nas características físicas e mecânicas da mistura.

Todas as amostras com adição de RCC (25%, 50% e 75%) passaram a ser classificadas como solos granulares, conforme os critérios da GOINFRA (2019), apresentando índice de grupo (IG), limite de liquidez (LL) e índice de plasticidade (IP) iguais a zero, refletindo um comportamento mais favorável para aplicação em obras rodoviárias.

Os resultados do Índice de Suporte Califórnia (CBR) demonstraram aumento progressivo da capacidade de suporte com a adição de RCC, atingindo 76,50%, 86,81% e 126,45% para as misturas com 25%, 50% e 75% de RCC, respectivamente. Esses valores superam os limites mínimos exigidos para aplicação em sub-base ($\text{CBR} \geq 20\%$)

e base ($\text{CBR} \geq 60\%$). A expansividade, por sua vez, foi reduzida com a adição de RCC, variando entre 0,01% e 0,00%, ficando abaixo dos limites máximos estabelecidos para ambas as aplicações (1,0% para sub-base e 0,5% para base).

Com relação à granulometria, apenas a amostra com 75% de RCC se enquadrou em uma das faixas previstas na norma (faixa D), sendo, portanto, a única mistura que atendeu a todos os critérios exigidos pela GOINFRA para aplicação em camada de base.

Entretanto, vale destacar que a normativa da GOINFRA também estabelece limites máximos para o ensaio de abrasão Los Angeles, o qual não foi realizado no presente estudo. A ausência desse dado impede uma verificação completa da durabilidade mecânica dos agregados reciclados referente à abrasão.

Conclui-se, portanto, que a estabilização do solo argiloso com RCC, especialmente na proporção de 75%, mostra-se tecnicamente viável para aplicação em sub-base e potencialmente viável para base, desde que atendido também o critério de resistência à abrasão. A estratégia representa, ainda, uma alternativa sustentável ao promover o reaproveitamento de resíduos da construção civil e a redução do consumo de materiais naturais em obras de pavimentação.

4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA GOIANA DE TRANSPORTES E OBRAS (AGETOP). Especificações gerais para obras rodoviárias: **ARQ-947** – Volume I – Especificações de Serviço. Edição revista. Goiânia, 2002.

AGÊNCIA GOIANA DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE (GOINFRA). **ES-PAV 002**. Pavimentação – Base e Sub-base estabilizada granulometricamente com ou sem mistura. Goiás, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6457**: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2024.

_____. **NBR 6458**: Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8mm – Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 6502**: Rochas e Solos. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 6459**: Solo — Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 2017.

_____. **NBR 7180**: Solo — Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 7181**: Solo — Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2018.

_____. **NBR 7182**: Solo — Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 2020.

_____. **NBR 9895**: Solo — Índice de suporte Califórnia (ISC) – método de ensaio. Rio de Janeiro, 2017.

_____. **NBR 10007**: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 17054**: Agregados — Determinação da composição granulométrica – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RESÍDUOS E MEIO AMBIENTE. ABREMA – **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2023**. Capítulo I. São Paulo, SP, 2023.

BARRETO, A. C.; AMORIM, E. F. Desempenho técnico de misturas de solo com RDC para uso em obras de pavimentação. **Holos**. Ano 36, v. 7, 2020.

BRASIL. CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 307**, de 05 de julho de 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL. IBAM – **Manual gerenciamento integrado de resíduos sólidos**. Capítulo V. Paraná, 2001.

NICOLAU, C. O.; BARBOSA, F. M. D. R. Análise do comportamento do solo com adição de resíduos de construção e demolição (RCD). **Research, Society and Development**. v. 12, n. 7, p.1-13, 2023.

RNV RESÍDUOS. Agregados reciclados. 2021. Disponível em: <https://renoveresiduos.com.br/agregados-reciclados/>. Acesso em: 17 dez. 2024.

SOUSA, M. K. O.; BALDUINO, FA. R. Aproveitamento do RCD como base e sub-base em pavimentações com baixo volume de tráfego no município de Porto Nacional. **Inventionis**, v. 1, n. 2, p. 19-29, 2019.

THONGKAMSUK, P.; SUDASNA, K. TONDEE, T. Waste generated in high-rise buildings construction: A current situation in Thailand. **Energy Procedia**. v. 138, p. 411-416, 2017.

ANEXO A



RELATÓRIO TÉCNICO DE:
Compactação, CBR, Granulometria e Limites
Argila Vermelha
RT - 2652 / 2023

À:

HAMOA - Rio Verde Incorporações LTDA

A/C:

Engº Lucas Leonardo

OBRA:

Residencial Hamoa, Rio Verde GO.**LABORATÓRIO DE SOLOS, ASFALTO E CONCRETO.**

Aparecida de Goiânia / GO, 31 de outubro de 2023.

Diogo Nunes Barbosa**Consultor Técnico**diogo@betusolos.com.br**CREA-GO 19.345/D**

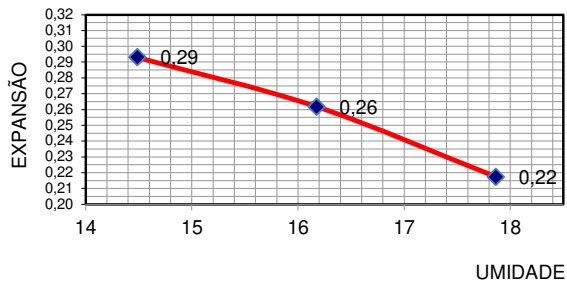
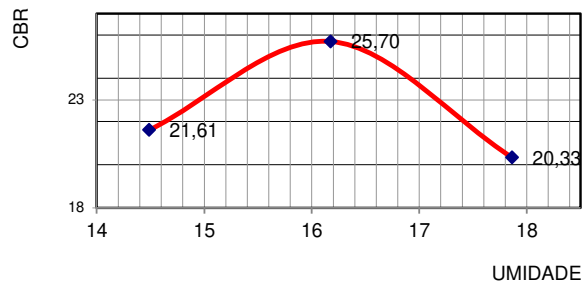
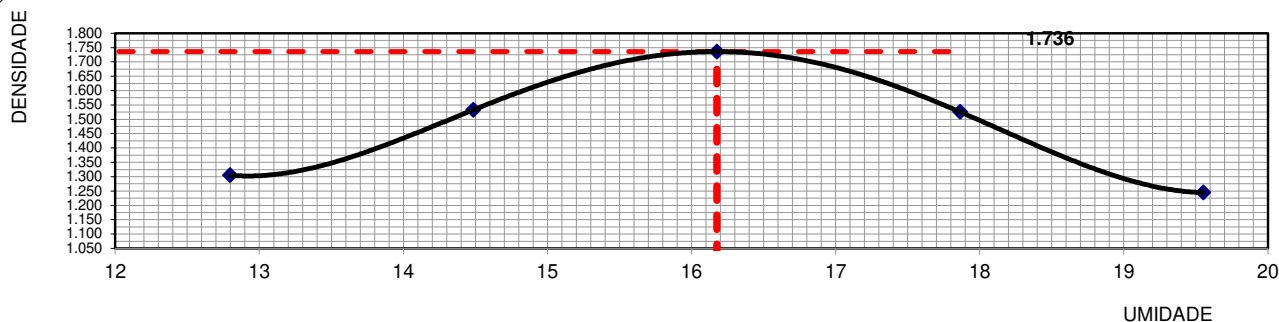
CONROLE TECNOLÓGICO

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO NORMA: DNIT ME 164/2013

OBRA		TRECHO				DATA	
Residencial Hamoa, Rio Verde GO.		Encaixe Viaduto				21/10/2023	
MATERIAL		Estaca ou Jazida		FURO	PROFUND.	ESTUDO	
Argila Vermelha		01 a 20		1	20 cm	Aterro	
% MAT. RET. # Nº 4	PROCTOR		GOLPES	CALCULADOR		OPERADOR	
0,00%	Intermediário		26	Matheus		Matheus	
UMIDADE						UMIDADE HIGROSCÓPICA	
CÁPSULA	Nº					14	8
C + S + A	(g)					90,6	102,6
C + S	(g)	COMPLETA				89,40	101,70
A - ÁGUA	(g)					1,20	0,90
C - CÁPSULA	(g)					14,4	14,6
S - SOLO	(g)					75,00	87,10
UMIDADE - H (%)						1,60	1,03
UMIDADE MÉDIA (%)						1,32	

COMPACTAÇÃO

ÁGUA ADICION. (g)	680	780	880	980	1080		PESO MATERIAL		
% ÁGUA ADICION.	11,33	13,00	14,67	16,33	18,00		6000		
UMIDADE ADICION. %	11,48	13,17	14,86	16,55	18,24		PESO MAT. SECO		
UMIDADE COMPACTAÇÃO %	12,80	14,49	16,18	17,87	19,55		5922		
Nº DO MOLDE	2	97	26	32	5		CILINDROS		
M + S + A (g)	7.325	7.658	8.735	8.032	7.315		Nº	PESO	VOLUME
M - MOLDE (g)	4.245	4.058	4.480	4.255	4.285				
S + A (g)	3.080	3.600	4.255	3.777	3.030		2	4245	2092
DENS. ÚMIDA kg/m³	1,472	1,755	2,017	1,798	1,488		97	4058	2051
DENS. CONVERT. kg/m³	1,322	1,553	1,759	1,546	1,261		26	4480	2110
DENS. SECA kg/m³	1,305	1,533	1,736	1,526	1,244		32	4255	2101
							5	4285	2037
DENS. MÁXIMA kg/m³ =	1.736	h. ótima % = 16,18		I.S.C % = 25,70		EXP. % = 0,26			




RESPONSÁVEL TÉCNICO
DIOGO NUNES BARBOSA

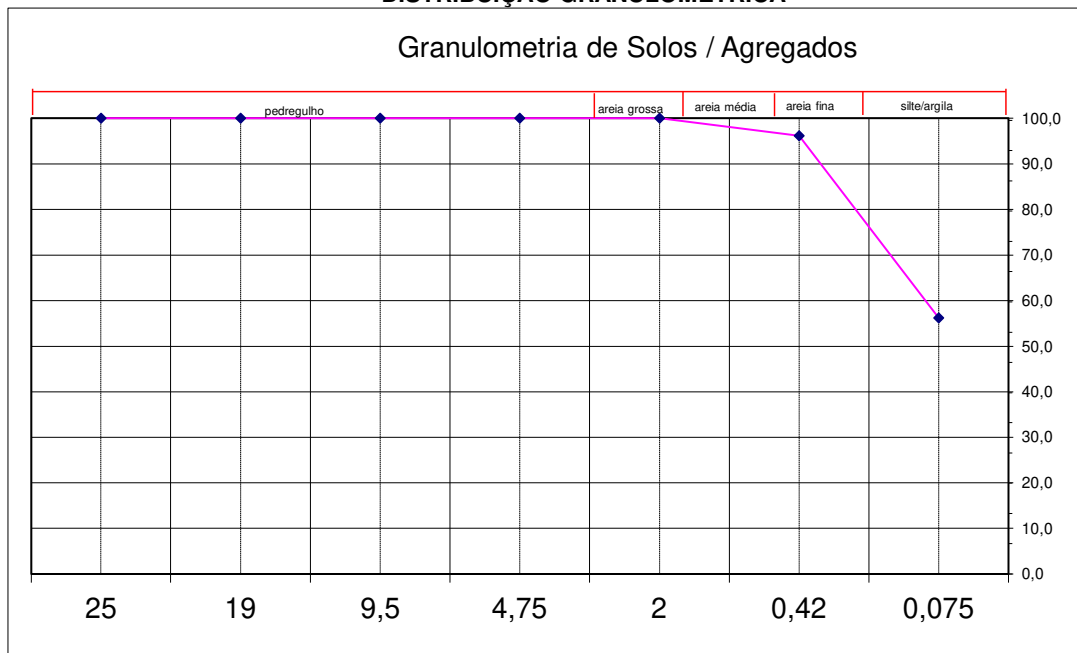

CONTROLE DE QUALIDADE
ENG. WARLLY QUINTILIANO

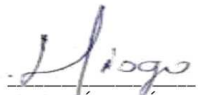
		ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAMENTO	
		NORMA: DNER ME 080/94 Amostra preparada pela DNER 041/94	
OBRA:	Idencial Hamoa, Rio Verde	OPERADOR:	Matheus
TRECHO:	Encaixe Viaduto	DATA:	21/10/2023
SUB-TRECHO:	-	RG	1
MATERIAL:	Argila Vermelha	LOCAL:	01 a 20
ESTUDO:	Aterro		PROFUND.: 20 cm

AMOSTRA < No. 10 RECIP. No.	AMOSTRA TOTAL SÉCA (g):	987,00	UMIDADE HIGROSCÓPICA		RESUMO		
	AMOSTRA TOTAL ÚMIDA	1000,00	CÁPSULA NÚM.	14	8	PEDREG.: ACIMA 4,8 mm	0,00
	RÉTIDO PEN. N. 10 (g)	0,00	C + S + A	90,60	102,60	AREIA GROS.: 4,8 - 2,0 mm	0,00
	PASSANDO PEN. N.10 ÚMIDA (g)	1000,00	C + S	89,40	101,70	AREIA MÉDIA: 2,0 - 0,42 mm	3,84
	PESO DA ÁGUA	13,00	A - ÁGUA	1,20	0,90	AREIA FINA: No. 40 - 200	39,98
	PASSANDO PEN. N.10 (g) SECA	987,00	C - CÁPSULA	14,40	14,60	PASSANDO No. 200	56,18
	AMOSTRA TOTAL SECA	987,00	S - SOLO	75,00	87,10	TOTAL	100,00
RETIDO No. 10 RECIP. No.	AMOSTRA MENOR N. 10 ÚMIDA	100,00	UMIDADE	1,60	1,03	RETIDO: No. 10 - 200	43,82
	AMOSTRA MENOR N. 10 SECA	98,70	UMIDADE MÉDIA	1,32			
			FATOR CORREÇÃO	0,987			

PENEIRAMENTO GROSSO MATERIAL RETIDO					% QUE PASSA DA AMOSTRA TOTAL	PENEIRAS mm
PENEIRAS POL.	PESO g	% DA AMOSTRA MENOR No. 10	% AMOSTRA TOTAL	% ACUMULADA		
1"	0,00		0,00	0,00	100,00	25
3/4"	0,00		0,00	0,00	100,00	19
3/8"	0,00		0,00	0,00	100,00	9,5
4	0,00		0,00	0,00	100,00	4,75
10	0,00		0,00	0,00	100,00	2,00
PENEIRAMENTO FINO MATERIAL RETIDO						
40	3,79	3,84	3,84	3,84	96,16	0,42
200	39,46	39,98	39,98	43,82	56,18	0,075
Fundo						

DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA




 RESPONSÁVEL TÉCNICO
 DIOGO NUNES BARBOSA


 CONTROLE DE QUALIDADE
 ENG. WARLLY QUINTILIANO

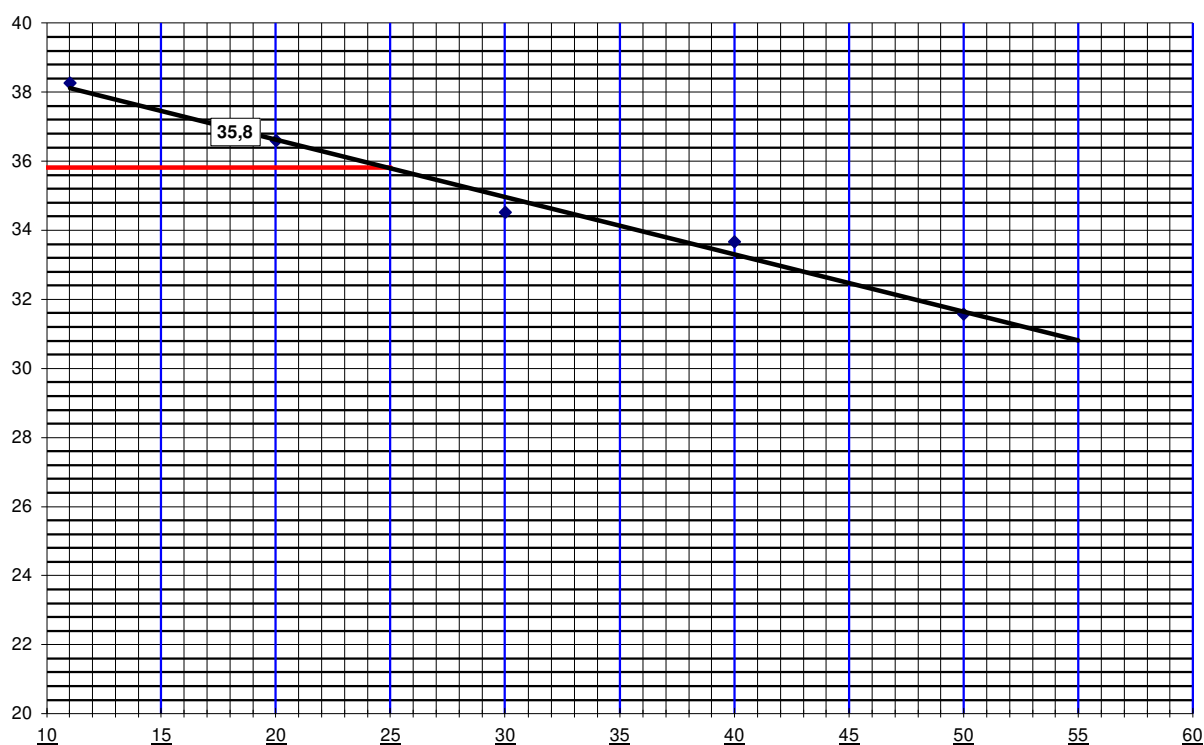


DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ E PLASTICIDADE
NORMAS: DNER-ME 082/94 E DNER-ME 122/94

TRECHO			DATA
Encaixe Viaduto			21/10/2023
MATERIAL	LOCAL	FURO	PROFU:
Argila Vermelha	01 a 20	1	
ESTUDO	OBRA		OPERADOR
Aterro	Residencial Hamoa, Rio Verde GO.		IdgJan

LIMITES										
	LIMITE DE LIQUIDEZ					LIMITE DE PLÁSTICIDADE				
CÁPSULA Nº	9	5	6	18	23	20	19	13	12	8
C + S + A g	22,46	19,57	21,90	20,69	22,55	9,55	8,66	9,21	9,61	9,46
C + SOLO g	18,20	16,45	17,50	16,94	17,56	8,79	8,02	8,82	9,12	8,76
CÁPSULA g	4,71	7,18	4,75	6,69	4,51	4,09	3,94	6,36	6,42	4,97
ÁGUA g	4,26	3,12	4,40	3,75	4,99	0,76	0,64	0,39	0,49	0,70
SOLO g	13,49	9,27	12,75	10,25	13,05	4,70	4,08	2,46	2,70	3,79
UMIDADE %	31,6	33,7	34,5	36,6	38,2	16,2	15,7	15,9	18,1	18,5
GOLPES	50	40	30	20	11	Umidade Média (LP) =		16,87		

GRÁFICO LIMITE DE LIQUIDEZ



ÍNDICE DE PLASTICIDADE	
LIMITE DE LIQUIDEZ (LL)	35,8
LIMITE DE PLASTICIDADE (LP)	16,9
ÍNDICE DE PLASTICIDADE (IP = LL - LP)	18,9
ÍNDICE DE GRUPO - IG	11
CLASSIFICAÇÃO HRB	A-6

Diogo
 RESPONSÁVEL TÉCNICO
 DIOGO NUNES BARBOSA

Warlly
 CONTROLE DE QUALIDADE
 ENG. WARLLY QUINTILIANO

ANEXO B



RELATÓRIO TÉCNICO DE:
Compactação, CBR, Granulometria, Limite
75% Argila + 25% BGR

RT - 2823/2024

À:

IFG(Instituto Federal Goiano)

A/C:

Gabrielle Souza Vieira

OBRA:

Projeto de Mestrado, Rio Verde - GO.

LABORATÓRIO DE SOLOS, ASFALTO E CONCRETO.

Rio Verde / GO, 06 de Dezembro de 2024.

Diogo Nunes Barbosa

Consultor Técnico

diogo@betusolos.com.br

CREA-GO 19.345/D

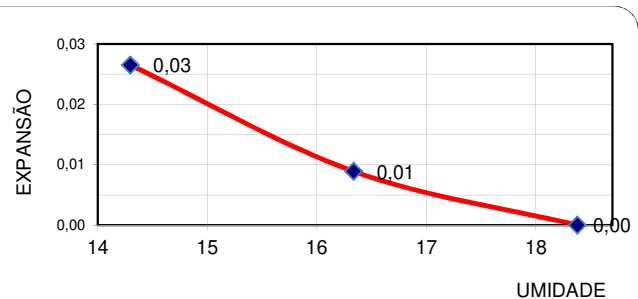
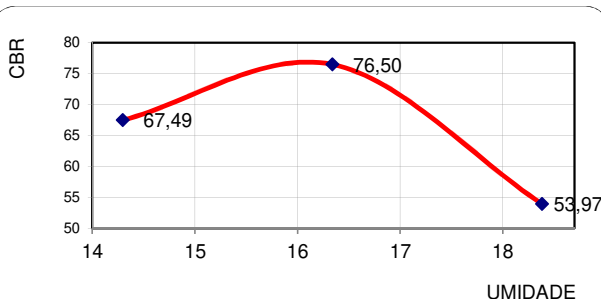
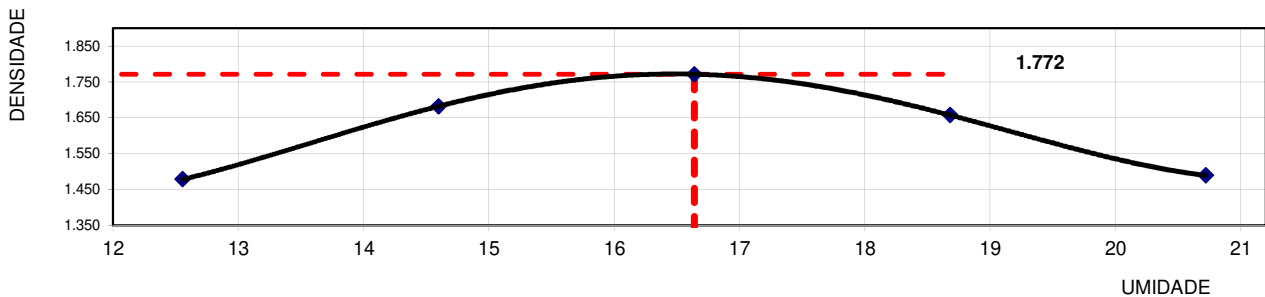
CONROLE TECNOLÓGICO

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO NORMA: DNIT ME 164/2013

OBRA		TRECHO			DATA
Projeto de Mestrado, Rio Verde - GO.		-			06/12/2024
MATERIAL		Estaca ou Jazida	FURO	PROFUND.	ESTUDO
75% Argila + 25% BGR		-	-	-	Projeto
% MAT. RET. # N° 4	PROCTOR	GOLPES	CALCULADOR		OPERADOR
12,10%	Intermediário	26	Santiago		Santiago
UMIDADE			UMIDADE HIGROSCÓPICA		
CÁPSULA N°			3	8	
C + S + A (g)			86,00	104,9	
C + S (g)	COMPLETA		84,50	103,10	
A - ÁGUA (g)			1,50	1,80	
C - CÁPSULA (g)			12,00	15,30	
S - SOLO (g)			72,50	87,80	
UMIDADE - H (%)			2,07	2,05	
UMIDADE MÉDIA (%)			2,06		

COMPACTAÇÃO

ÁGUA ADICION. (g)	720	860	1000	1140	1280		PESO MATERIAL		
% ÁGUA ADICION.	10,29	12,29	14,29	16,29	18,29		7000		
UMIDADE ADICION. %	10,50	12,54	14,58	16,62	18,66		PESO MAT. SECO		
UMIDADE COMPACTAÇÃO %	12,56	14,60	16,64	18,68	20,72		6859		
N° DO MOLDE	1	45	23	27	2		CILINDROS		
M + S + A (g)	7.694	8.490	8.310	8.564	8.204		N°	PESO	VOLUME
M - MOLDE (g)	4.256	4.482	4.082	4.478	4.480				
S + A (g)	3.438	4.008	4.228	4.086	3.724		1	4256	2066
DENS. ÚMIDA kg/m³	1,664	1,928	2,066	1,967	1,798		45	4482	2079
DENS. CONVERT. kg/m³	1,509	1,717	1,808	1,692	1,520		23	4082	2046
DENS. SECA kg/m³	1,478	1,682	1,772	1,658	1,490		27	4478	2077
							2	4480	2071
DENS. MÁXIMA kg/m³ =	1.772	h. ótima % = 16,64		I.S.C % = 76,50			EXP. % = 0,01		



Obs.: Pode ocorrer variação granulométrica do material BGR e com possibilidades de alterações nos resultados. Recomenda-se utilizar em quantidades menores.

[Signature]
RESPONSÁVEL TÉCNICO

[Signature]
CONTROLE DE QUALIDADE

TRECHO:			DATA	
Estudo:	Furo:	Operador:	10/12/2024	
		Nº	CONS. DA PRENSA	
Projeto	-	Santiago	5	0,1027 1,4600

ENSAIO DE EXPANSÃO

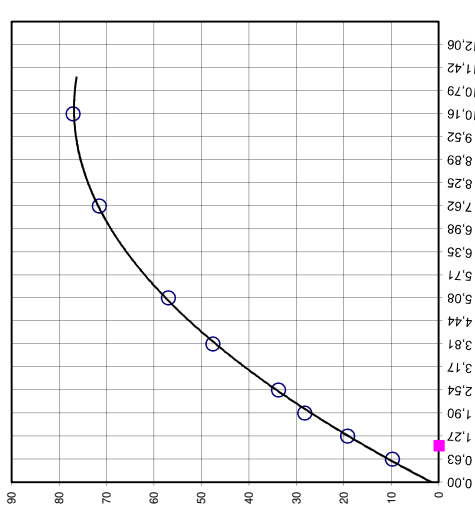
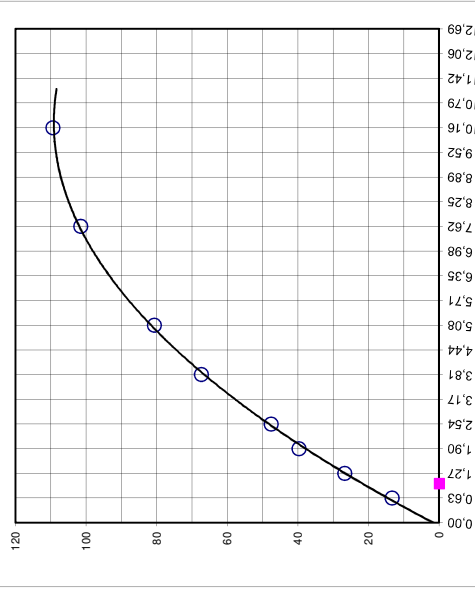
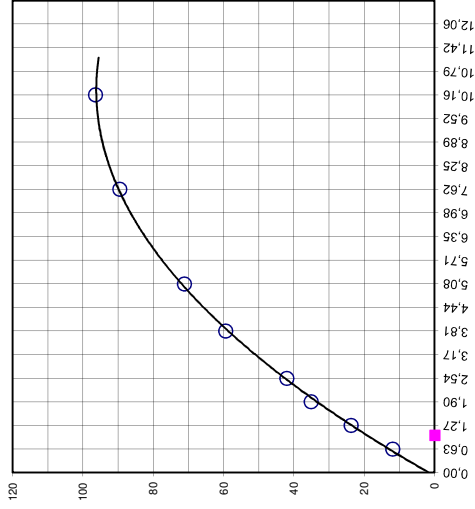
Data	Hora	Moide nº: 45		Altura: 11,31		Moide nº: 23		Altura: 11,25		Moide nº: 27		Altura: 11,30	
		Leitura	Diferença	%		Leitura	Diferença	%		Leitura	Diferença	%	
06/12/2024		1,00				1,00				1,00			
10/12/2024		1,03	0,03	0,03		1,01	0,01	0,01		1,00	0,00	0,00	

Molde nº 45					Molde nº 23					Molde nº 27				
Penet mm	Tempo min	Leitura Extens	Press Kg/Cm²	ISC %	Penet mm	Tempo min	Leitura Extens	Press Kg/Cm²	ISC %	Penet mm	Tempo min	Leitura Extens	Press Kg/Cm²	ISC %
0,63	0,5	101	11,84		0,63	0,5	115	13,26		0,63	0,5	80	9,72	
1,27	1,0	217	23,71		1,27	1,0	246	26,74		1,27	1,0	172	19,16	
1,90	1,5	327	35,07		1,90	1,5	372	39,65		1,90	1,5	260	28,19	
2,54	2,0	395	42,02	59,76	2,54	2,0	449	47,55	70,31	2,54	2,0	314	33,72	70,31
3,81	3,0	564	59,40		3,81	3,0	641	67,30		3,81	3,0	449	47,55	
5,08	4,0	679	71,17	67,49	5,08	4,0	771	80,68	105,46	5,08	4,0	540	56,91	105,46
7,62	6,0	858	89,53		7,62	6,0	974	101,54		7,62	6,0	682	71,51	
10,16	8,0	925	96,48		10,16	8,0	1051	109,44		10,16	8,0	736	77,05	

I.S.C.(C.B.R)
67,49

I.S.C.(C.B.R)
76,50

I.S.C.(C.B.R)
53,97



RESPONSÁVEL TÉCNICO
DIOGO NUNES BARBOSA

CONTROLE DE QUALIDADE
ENG. WARLLY QUINTILIANO



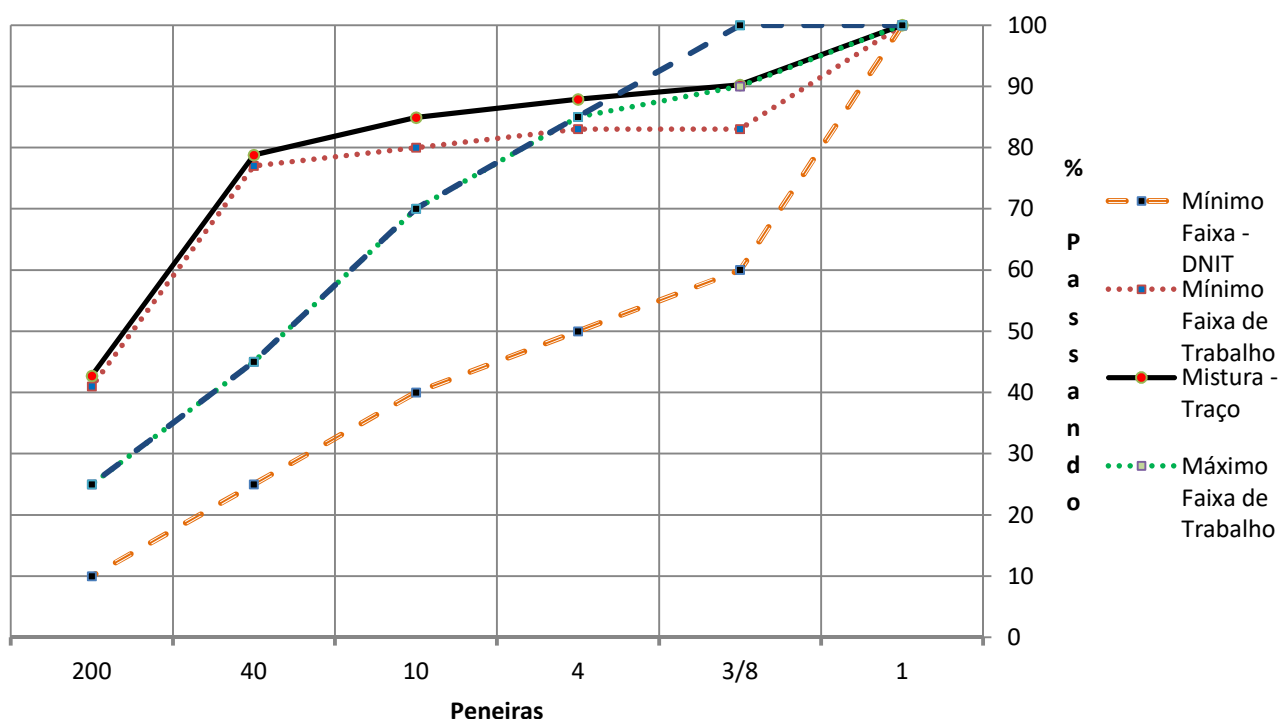
ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DE AGREGADOS NORMA DNIT-ES 141/2022

OBRA:	Projeto de Mestrado, Rio Verde - GO.		
TRECHO:	-	DATA:	06/12/24
SUB-TRECHO:	-	ORIGEM:	-
MATERIAL:	75% Argila + 25% BGR	FAIXA:	D
		AMOSTRA	2000

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAMENTO

Peneiras		Faixa de Projeto "D"		Material Retido		Acumulado	% Acum.
mm	pol	min	max	Peso (g)	% Retida	%	passando
25,4	1	100	100	0,00	0,0	0,0	100,00
9,5	3/8	60	100	194,90	9,7	9,7	90,26
4,76	4	50	85	47,00	2,4	12,1	87,91
2	10	40	70	60,00	3,0	15,1	84,91
0,42	40	25	45	122,26	6,1	21,2	78,79
0,075	200	10	25	721,69	36,1	57,3	42,71
Fundo	-			854,14			
Total	-			2000,00	%		

DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA



RESPONSÁVEL TÉCNICO
 DIOGO NUNES BARBOSA

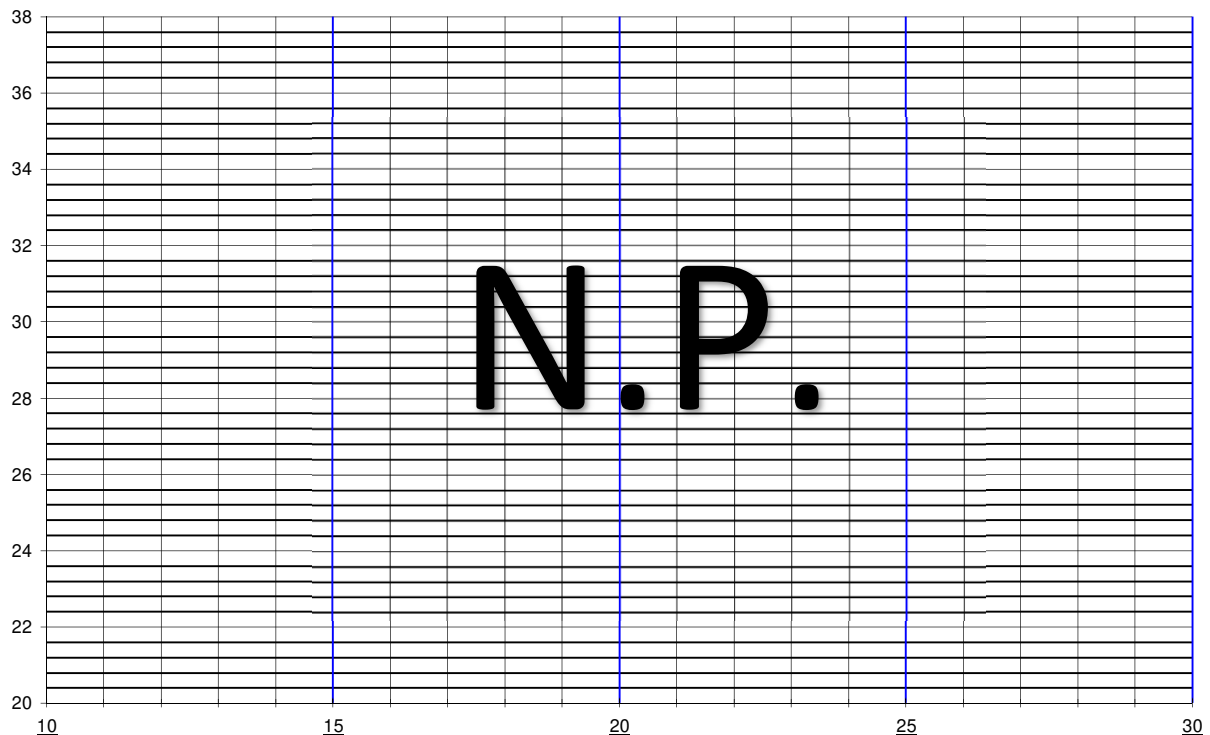
CONTROLE DE QUALIDADE
 ENG. WARLLY QUINTILIANO



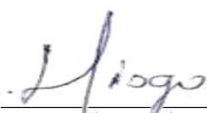
DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ E PLASTICIDADE
NORMAS: DNER-ME 082/94 E DNER-ME 122/94

TRECHO			DATA		
-			06/12/2024		
MATERIAL			LOCAL	FURO	PROFU:
75% Argila + 25% BGR			-	-	-
ESTUDO	OBRA				OPERADOR
Projeto	Projeto de Mestrado, Rio Verde - GO.				Santiago
LIMITES					
	LIMITE DE LIQUIDEZ			LIMITE DE PLÁSTICIDADE	
CÁPSULA Nº					
C + S + A g					
C + SOLO g					
CÁPSULA g					
ÁGUA g					
SOLO g					
UMIDADE %					
GOLPES					

GRÁFICO LIMITE DE LIQUIDEZ



ÍNDICE DE PLASTICIDADE	
LIMITE DE LIQUIDEZ (LL)	
LIMITE DE PLASTICIDADE (LP)	
ÍNDICE DE PLASTICIDADE (IP = LL - LP)	
ÍNDICE DE GRUPO - IG	
CLASSIFICAÇÃO HRB	


 RESPONSÁVEL TÉCNICO
 DIOGO NUNES BARBOSA


 CONTROLE DE QUALIDADE
 ENG. WARLLY QUINTILIANO

ANEXO C



RELATÓRIO TÉCNICO DE:
Compactação, CBR, Granulometria, Limite
50% Argila + 50% BGR

RT - 2824/2024

À:

IFG(Instituto Federal Goiano)

A/C:

Gabrielle Souza Vieira

OBRA:

Projeto de Mestrado, Rio Verde - GO.

LABORATÓRIO DE SOLOS, ASFALTO E CONCRETO.

Rio Verde / GO, 06 de Dezembro de 2024.

Diogo Nunes Barbosa

Consultor Técnico

diogo@betusolos.com.br

CREA-GO 19.345/D

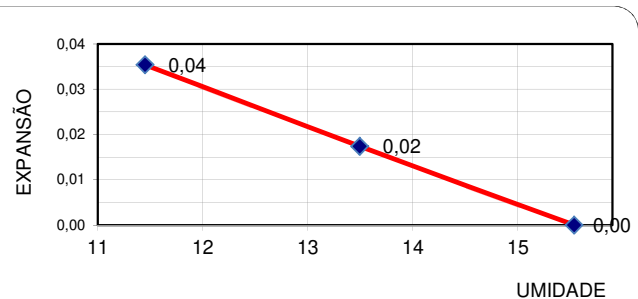
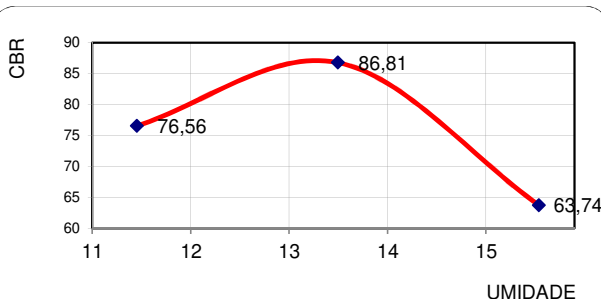
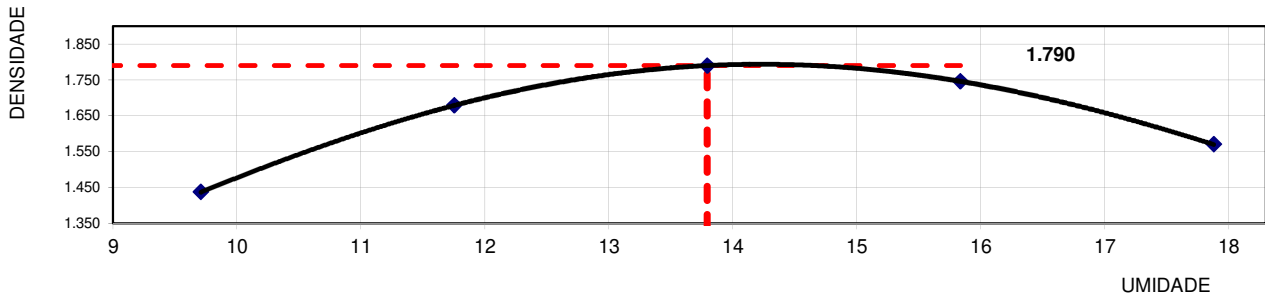
CONROLE TECNOLÓGICO

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO NORMA: DNIT ME 164/2013

OBRA		TRECHO				DATA	
Projeto de Mestrado, Rio Verde - GO.		-				06/12/2024	
MATERIAL		Estaca ou Jazida		FURO	PROFUND.	ESTUDO	
50% Argila + 50% BGR		-		-	-	Projeto	
% MAT. RET. # Nº 4	PROCTOR		GOLPES	CALCULADOR		OPERADOR	
23,50%	Intermediário		26	Santiago		Santiago	
UMIDADE						UMIDADE HIGROSCÓPICA	
CÁPSULA	Nº					4	6
C + S + A (g)						85,68	99,68
C + S (g)		COMPLETA				84,09	98,06
A - ÁGUA (g)						1,59	1,62
C - CÁPSULA (g)						14,30	15,80
S - SOLO (g)						69,79	82,26
UMIDADE - H (%)						2,28	1,97
UMIDADE MÉDIA (%)						2,12	

COMPACTAÇÃO

ÁGUA ADICION. (g)	520	660	800	940	1080	PESO MATERIAL		
% ÁGUA ADICION.	7,43	9,43	11,43	13,43	15,43	7000		
UMIDADE ADICION. %	7,59	9,63	11,67	13,71	15,76	PESO MAT. SECO		
UMIDADE COMPACTAÇÃO %	9,71	11,75	13,80	15,84	17,88	6854		
Nº DO MOLDE	5	43	68	34	7	CILINDROS		
M + S + A (g)	7.764	8.500	8.485	8.485	8.469	Nº	PESO	VOLUME
M - MOLDE (g)	4.484	4.642	4.232	4.324	4.654			
S + A (g)	3.280	3.858	4.253	4.161	3.815	5	4484	2080
DENS. ÚMIDA kg/m³	1,577	1,876	2,037	2,023	1,851	43	4642	2056
DENS. CONVERT. kg/m³	1,468	1,715	1,828	1,783	1,604	68	4232	2088
DENS. SECA kg/m³	1,437	1,679	1,790	1,746	1,570	34	4324	2057
						7	4654	2061
DENS. MÁXIMA kg/m³ =	1.790	h. ótima % = 13,80		I.S.C % = 86,81		EXP. % = 0,02		



Obs.: Pode ocorrer variação granulométrica do material BGR e com possibilidades de alterações nos resultados. Recomenda-se utilizar em quantidades menores.


RESPONSÁVEL TÉCNICO


CONTROLE DE QUALIDADE

ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA
NORMA:DNIT ME 172/2016

TRECHO:			DATA
Estudo:	Furo: -	Operator:	10/12/2024
Projeto	-	Santiago	0,1027 1,4600

ENSAIO DE EXPANSÃO

[illegible]

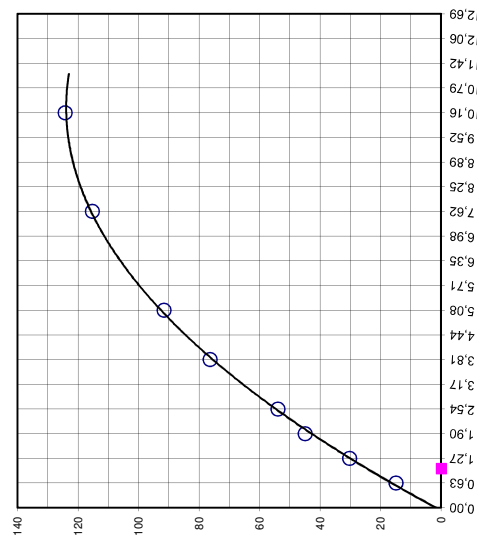
Penet mm	Temp o min	Molde nº		Press Kg/Cm²	Press Plást Kg/Cm²	ISC %
		Lectura Extens				
0,63	0,5	115	13,27			
1,27	1,0	246	26,76			
1,90	1,5	372	39,68			
2,54	2,0	449	47,58	70,31		67,68
3,81	3,0	642	67,35			
5,08	4,0	772	80,74	105,46		76,56
7,62	6,0	975	101,61			
10,16	8,0	1052	109,52			

C(C.B.R)
76,56

Penet mm	Tempo min	Molde nº		68	
		Press Kg/Cm²	Press Padr Kg/Cm²	ISC %	
0,63	0,5	131	14,88		
1,27	1,0	280	30,21		
1,90	1,5	423	44,89		
2,54	2,0	510	53,87	70,31	76,62
3,81	3,0	729	76,33		
5,08	4,0	877	91,55	105,46	86,81
7,62	6,0	1108	115,27		
10,16	8,0	1196	124,25		

C(C.B.R)
86,81

Temperatura °C	Tempo min	Molde nº2		Pressa Padrô Kg/Cm²	ISC %
		Leitura Extens	Pressa Kg/Cm²		
		95	11,25		
0.63	0.5				
		204	22,45		
1.27	1.0				
		309	33,16		
1.90	1.5				
		373	39,72	70,31	56,49
2.54	2.0				
		532	56,12		
3.81	3.0				
		640	67,22	105,46	63,74
5.08	4.0				
		809	84,54		
7.62	6.0				
		873	91,10		
10.16	8.0				

C(C.B.R)
63,74

RESPON. ÁVEL TÉCNICO
DIOGO NUNES BARBOSA

CONTROLE DE QUALIDADE
ENG. WARLLY QUINTILIANO



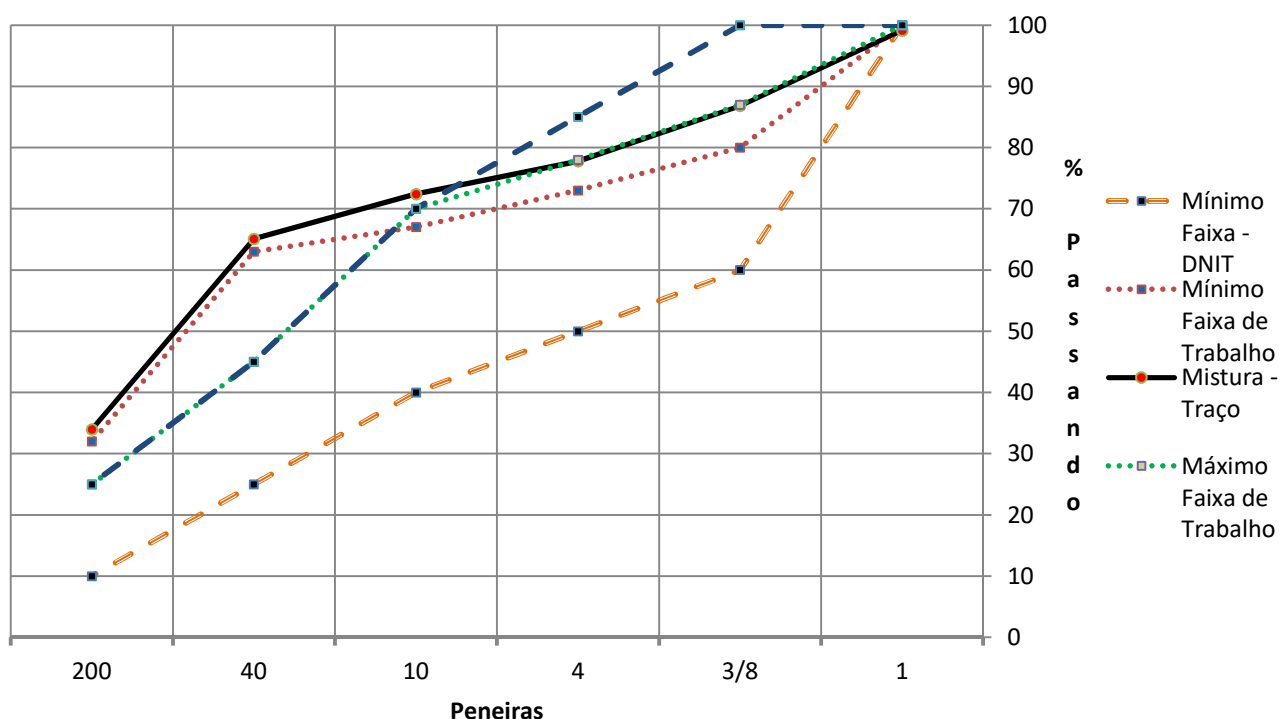
ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DE AGREGADOS NORMA DNIT-ES 141/2022

OBRA:	Projeto de Mestrado, Rio Verde - GO.		
TRECHO:	-	DATA:	06/12/24
SUB-TRECHO:	-	ORIGEM:	-
MATERIAL:	50% Argila + 50% BGR	FAIXA:	D
		AMOSTRA	2000

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAMENTO

Peneiras		Faixa de Projeto "D"		Material Retido		Acumulado	% Acum.
mm	pol	min	max	Peso (g)	% Retida	%	passando
25,4	1	100	100	17,70	0,9	0,9	99,12
9,5	3/8	60	100	263,50	13,2	13,2	86,83
4,76	4	50	85	181,00	9,1	22,2	77,78
2	10	40	70	107,20	5,4	27,6	72,42
0,42	40	25	45	146,28	7,3	34,9	65,10
0,075	200	10	25	622,77	31,1	66,0	33,96
Fundo	-			661,55			
Total	-			2000,00	%		

DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA



RESPONSÁVEL TÉCNICO
 DIOGO NUNES BARBOSA

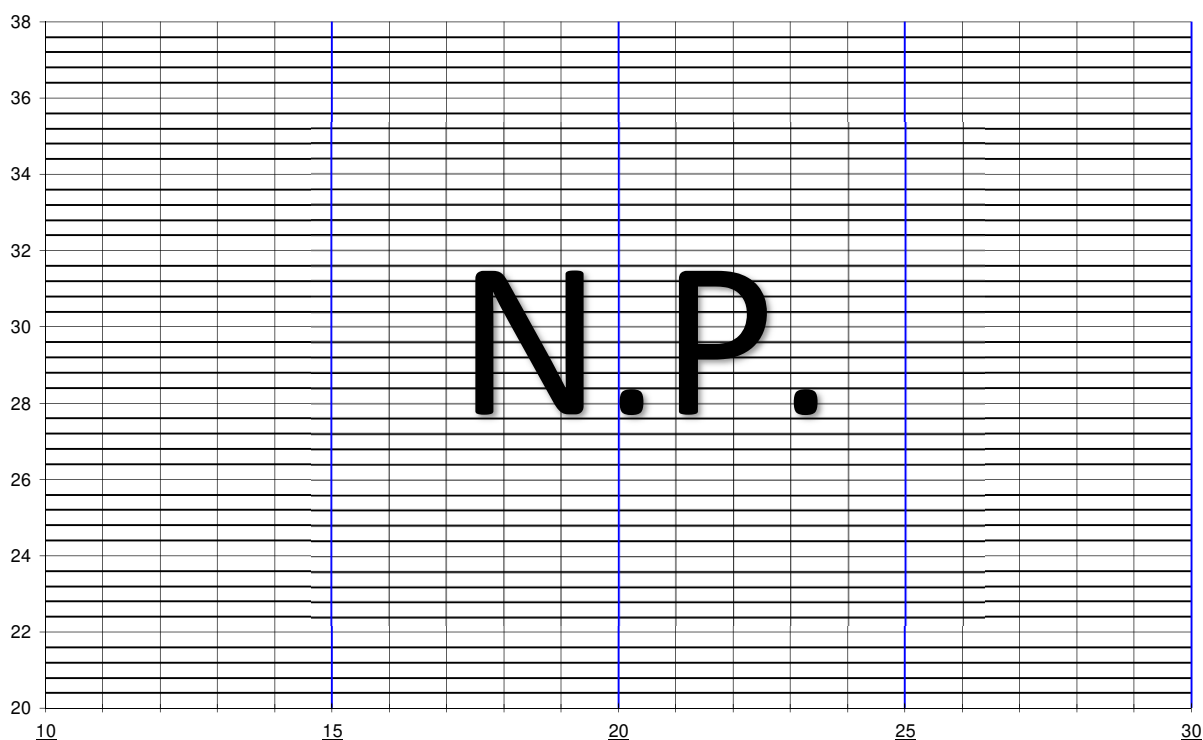
CONTROLE DE QUALIDADE
 ENG. WARLLY QUINTILIANO



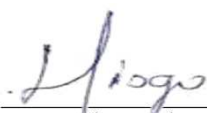
DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ E PLASTICIDADE
NORMAS: DNER-ME 082/94 E DNER-ME 122/94

TRECHO			DATA	
-			06/12/2024	
MATERIAL		LOCAL	FURO	PROFU:
50% Argila + 50% BGR		-	-	-
ESTUDO	OBRA			OPERADOR
Projeto	Projeto de Mestrado, Rio Verde - GO.			Santiago
LIMITES				
	LIMITE DE LIQUIDEZ			LIMITE DE PLÁSTICIDADE
CÁPSULA Nº				
C + S + A g				
C + SOLO g				
CÁPSULA g				
ÁGUA g				
SOLO g				
UMIDADE %				
GOLPES				

GRÁFICO LIMITE DE LIQUIDEZ



ÍNDICE DE PLASTICIDADE	
LIMITE DE LIQUIDEZ (LL)	
LIMITE DE PLASTICIDADE (LP)	
ÍNDICE DE PLASTICIDADE (IP = LL - LP)	
ÍNDICE DE GRUPO - IG	
CLASSIFICAÇÃO HRB	


 RESPONSÁVEL TÉCNICO
 DIOGO NUNES BARBOSA


 CONTROLE DE QUALIDADE
 ENG. WARLLY QUINTILIANO

ANEXO D



RELATÓRIO TÉCNICO DE:
Compactação, CBR, Granulometria, Limite
25% Argila + 75% BGR

RT - 2825/2024

À:

IFG(Instituto Federal Goiano)

A/C:

Gabrielle Souza Vieira

OBRA:

Projeto de Mestrado, Rio Verde - GO.

LABORATÓRIO DE SOLOS, ASFALTO E CONCRETO.

Rio Verde / GO, 06 de Dezembro de 2024.

Diogo Nunes Barbosa
Consultor Técnico
diogo@betusolos.com.br
CREA-GO 19.345/D

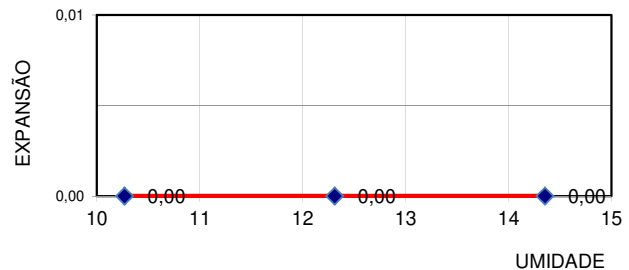
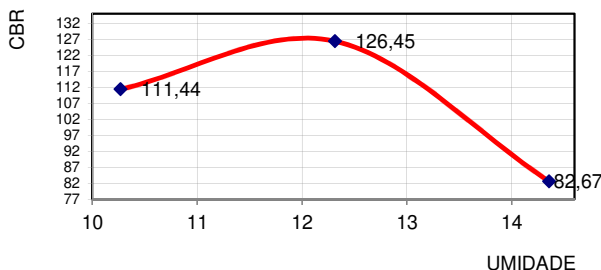
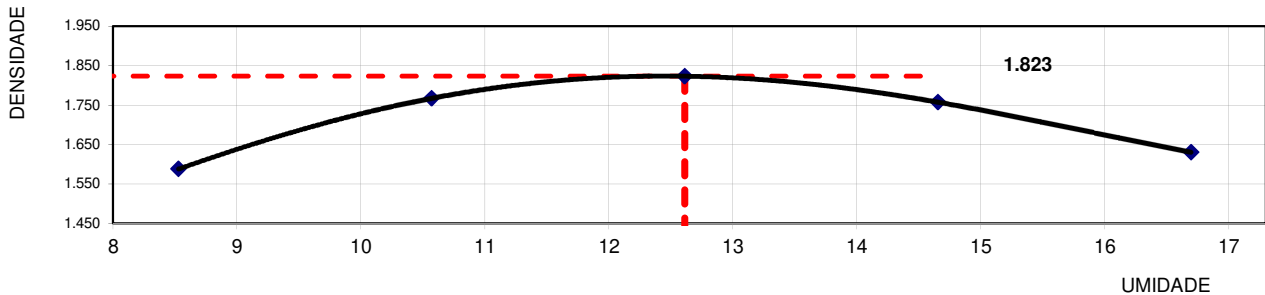
CONROLE TECNOLÓGICO

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO NORMA: DNIT ME 164/2013

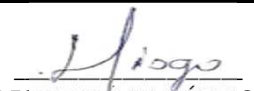
OBRA		TRECHO				DATA	
Projeto de Mestrado, Rio Verde - GO.		-				06/12/2024	
MATERIAL		Estaca ou Jazida		FURO	PROFUND.	ESTUDO	
25% Argila + 75% BGR		-		-	-	Projeto	
% MAT. RET. # Nº 4	PROCTOR		GOLPES	CALCULADOR		OPERADOR	
34,60%	Intermediário		26	Santiago		Santiago	
UMIDADE						UMIDADE HIGROSCÓPICA	
CÁPSULA	Nº					10	13
C + S + A	(g)					92,46	97,64
C + S	(g)	COMPLETA				90,72	96,04
A - ÁGUA	(g)					1,74	1,60
C - CÁPSULA	(g)					13,40	14,20
S - SOLO	(g)					77,32	81,84
UMIDADE - H (%)						2,25	1,96
UMIDADE MÉDIA (%)						2,10	

COMPACTAÇÃO

ÁGUA ADICION. (g)	420	560	700	840	980	PESO MATERIAL		
% ÁGUA ADICION.	6,00	8,00	10,00	12,00	14,00	7000		
UMIDADE ADICION. %	6,13	8,17	10,21	12,25	14,29	PESO MAT. SECO		
UMIDADE COMPACTAÇÃO %	8,23	10,27	12,31	14,36	16,40	6856		
N° DO MOLDE	13	46	64	11	14	CILINDROS		
M + S + A (g)	7.826	8.704	9.266	8.774	8.694	N°	PESO	VOLUME
M - MOLDE (g)	4.284	4.688	4.978	4.646	4.748			
S + A (g)	3.542	4.016	4.288	4.128	3.946	13	4284	2061
DENS. ÚMIDA kg/m³	1,719	1,949	2,048	2,010	1,898	46	4688	2061
DENS. CONVERT. kg/m³	1,621	1,804	1,862	1,794	1,665	64	4978	2094
DENS. SECA kg/m³	1,588	1,767	1,823	1,757	1,631	11	4646	2054
						14	4748	2079
DENS. MÁXIMA kg/m³ =	1.823	h. ótima %= 12,31		I.S.C %= 126,45		EXP. %= 0,00		



Obs.: Pode ocorrer variação granulométrica do material BGR e com possibilidades de alterações nos resultados. Recomenda-se utilizar em quantidades menores.


RESPONSÁVEL TÉCNICO


CONTROLE DE QUALIDADE

TRECHO:			DATA
Estudo:	Furo: -	Operator:	10/12/2024
Projeto	-	Santiago	0,1027 1,4600

[illegible]

Penet mm	Temp o min	Molde n°		46		ISC %
		Lellura Exens	Press Kg/Cm ²	Press Kg/Cm ²	Press Padt Kg/Cm ²	
0.63	0.5	168	18.75			
1.27	1.0	361	38.50			
1.90	1.5	545	57.41			
2.54	2.0	657	68.98	70.31	98.11	
3.81	3.0	939	97.92			
5.08	4.0	1130	117.52	105.46	111.44	
7.62	6.0	1428	148.08			
10.16	8.0	1540	159.66			

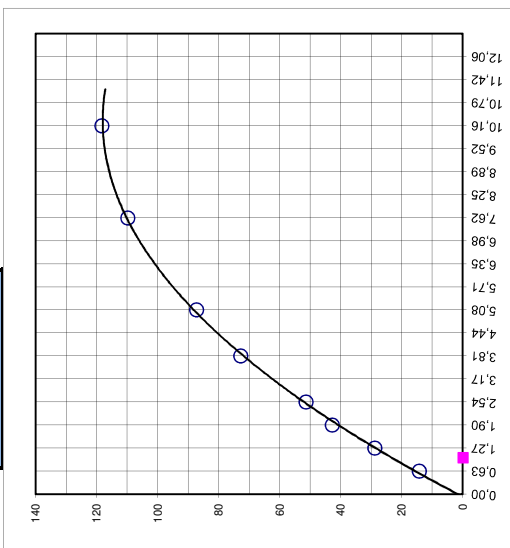
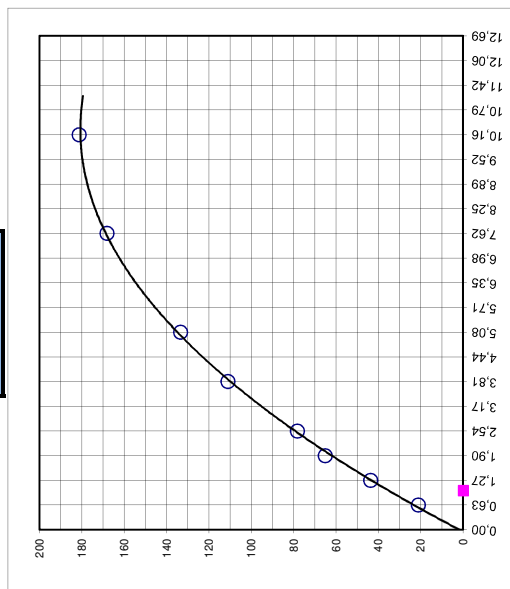
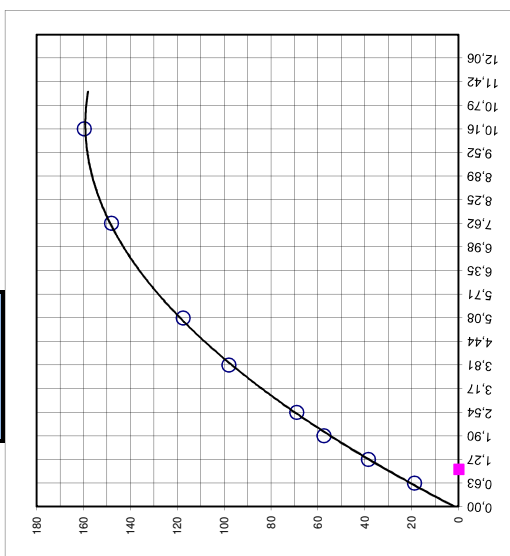
Penet. mm	Tempo min	Molde nº 64		ISC %
		Press. Kg/Cm ²	Press. Padr. Kg/Cm ²	
0.63	0.5	191	21.10	
1.27	1.0	410	43.55	
1.90	1.5	619	65.04	
2.54	2.0	747	78.19	111.21
3.81	3.0	1067	111.08	
5.08	4.0	1284	133.35	126.45
7.62	6.0	1622	168.08	
10.16	8.0	1750	181.23	

Temperatura °C	Tempo min	Molde nº	Press. Kg/Cm ²		Press. Padr. Kg/Cm ²	ISC %
			Leitura	Extens.		
0.63	0.5	124	14,23			
1.27	1.0	266	28,82			
1.90	1.5	402	42,79			
2.54	2.0	486	51,94		70.31	73.01
3.81	3.0	694	72,71			
5.08	4.0	835	87,19		105.46	82.67
7.62	6.0	1055	109,76			
10.16	8.0	1138	118,31			

I.S.C(C.B.R)	111,44
--------------	--------

I.S.C(C.B.R)	126,45
--------------	--------

5. C(C.B.R)	82,67
-------------	-------




RESPONSÁVEL TÉCNICO
DIOGO NUNES BARBOSA


CONTROLE DE QUALIDADE
ENG. WARLY QUINTILIANO



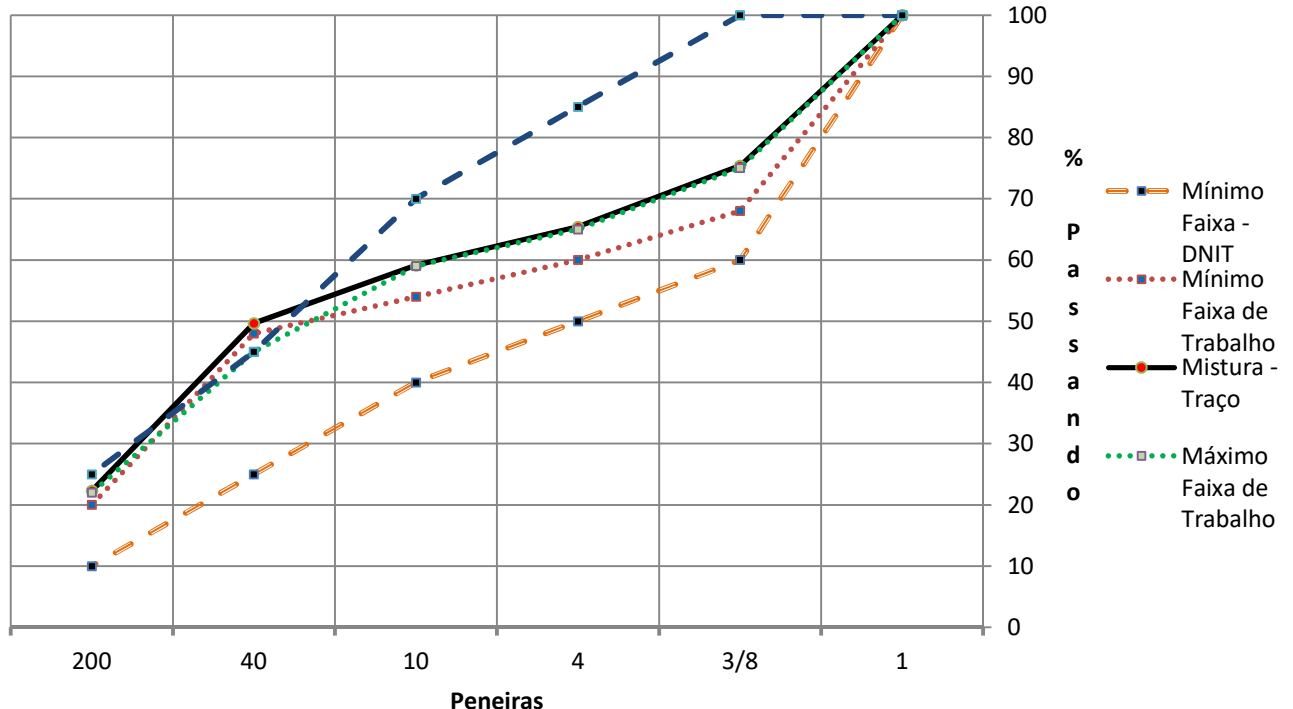
ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DE AGREGADOS NORMA DNIT-ES 141/2022

OBRA:	Projeto de Mestrado, Rio Verde - GO.		
TRECHO:	-	DATA:	06/12/24
SUB-TRECHO:	-	ORIGEM:	-
MATERIAL:	25% Argila + 75% BGR	FAIXA:	D
		AMOSTRA	2000

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAMENTO

Peneiras		Faixa de Projeto "D"		Material Retido		Acumulado	% Acum.
mm	pol	min	max	Peso (g)	% Retida	%	passando
25,4	1	100	100	0,00	0,0	0,0	100,00
9,5	3/8	60	100	492,30	24,6	24,6	75,39
4,76	4	50	85	199,70	10,0	34,6	65,40
2	10	40	70	125,00	6,3	40,9	59,15
0,42	40	25	45	189,28	9,5	50,3	49,69
0,075	200	10	25	547,73	27,4	77,7	22,30
Fundo	-			445,99			
Total	-			2000,00	%		

DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA




 RESPONSÁVEL TÉCNICO
 DIOGO NUNES BARBOSA

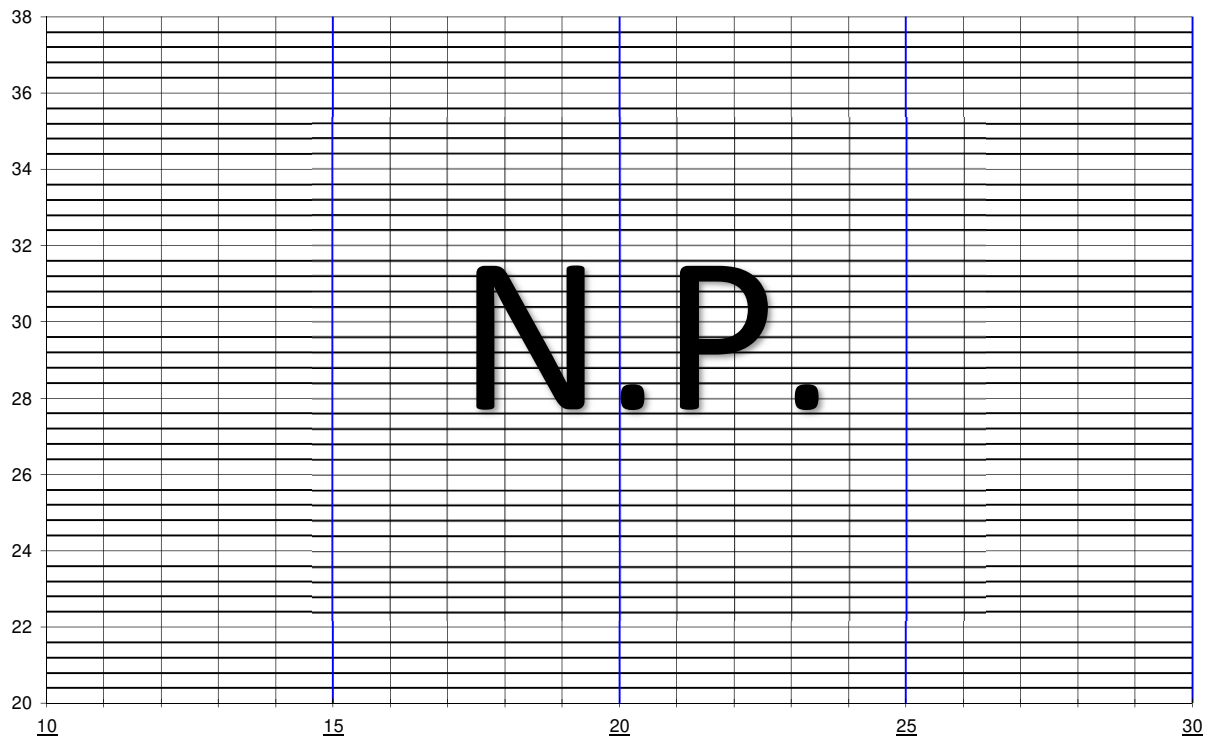

 CONTROLE DE QUALIDADE
 ENG. WARLLY QUINTILIANO



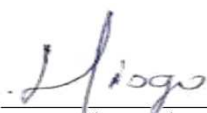
DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ E PLASTICIDADE
NORMAS: DNER-ME 082/94 E DNER-ME 122/94

TRECHO				DATA	
-				06/12/2024	
MATERIAL			LOCAL	FURO	PROFU:
25% Argila + 75% BGR			-	-	-
ESTUDO	OBRA				OPERADOR
Projeto	Projeto de Mestrado, Rio Verde - GO.				Santiago
LIMITES					
	LIMITE DE LIQUIDEZ			LIMITE DE PLÁSTICIDADE	
CÁPSULA Nº					
C + S + A g					
C + SOLO g					
CÁPSULA g					
ÁGUA g					
SOLO g					
UMIDADE %					
GOLPES					

GRÁFICO LIMITE DE LIQUIDEZ



ÍNDICE DE PLASTICIDADE	
LIMITE DE LIQUIDEZ (LL)	
LIMITE DE PLASTICIDADE (LP)	
ÍNDICE DE PLASTICIDADE (IP = LL - LP)	
ÍNDICE DE GRUPO - IG	
CLASSIFICAÇÃO HRB	


 RESPONSÁVEL TÉCNICO
 DIOGO NUNES BARBOSA


 CONTROLE DE QUALIDADE
 ENG. WARLLY QUINTILIANO

ANEXO E



RELATÓRIO TÉCNICO DE:

Granulometria**BGR****RT - 2826/2024**

À:

IFG(Instituto Federal Goiano)

A/C:

Gabrielle Souza Vieira

OBRA:

Projeto de Mestrado, Rio Verde - GO.**LABORATÓRIO DE SOLOS, ASFALTO E CONCRETO.**

Rio Verde / GO, 06 de Dezembro de 2024.

Diogo Nunes Barbosa**Consultor Técnico**diogo@betusolos.com.br**CREA-GO 19.345/D**



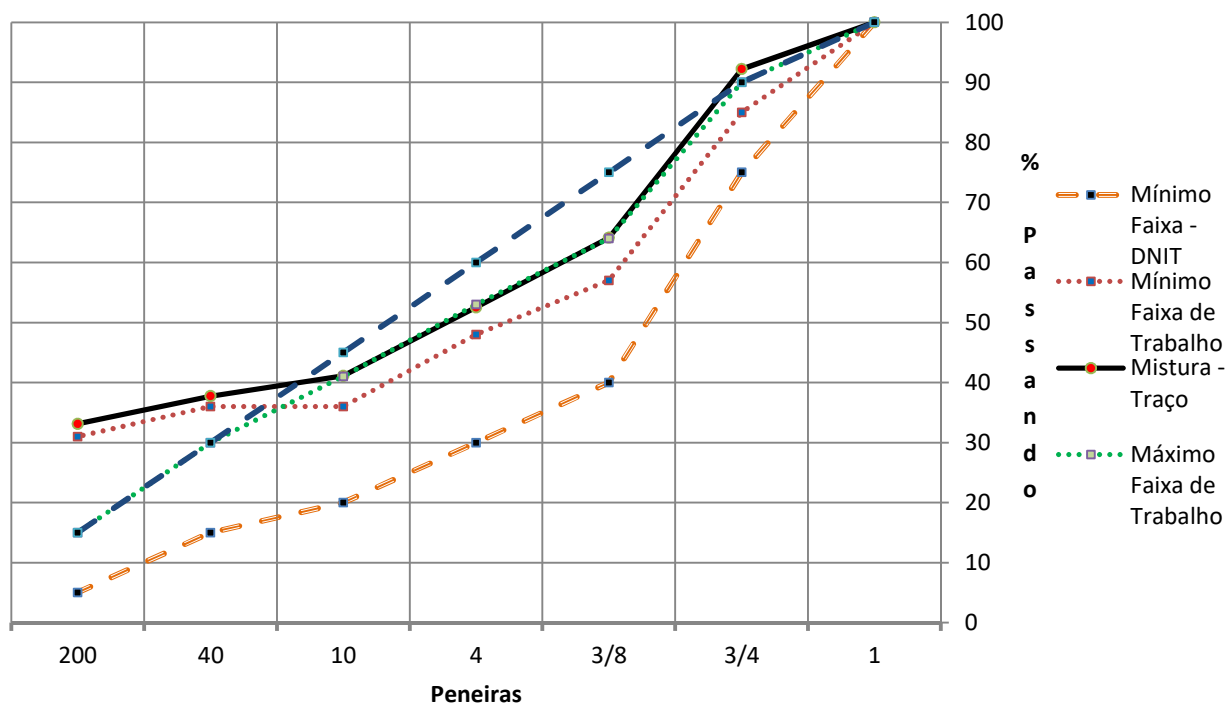
ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DE AGREGADOS NORMA DNIT-ES 141/2022

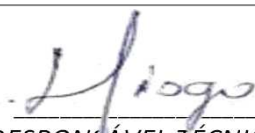
OBRA:	IFG(Instituto Federal Goiano)		
TRECHO:		DATA:	06/12/24
SUB-TRECHO:		ORIGEM:	-
MATERIAL:	BGR	FAIXA:	B
		AMOSTRA	1.000

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAMENTO

Peneiras		Faixa de Projeto "B"		Material Retido		Acumulado	% Acum.
mm	pol	min	max	Peso (g)	% Retida	%	passando
25,4	1	100	100	0,00	0,0	0,0	100,00
19,5	3/4	75	90	77,90	7,8	7,8	92,21
9,5	3/8	40	75	280,80	28,1	35,9	64,13
4,76	4	30	60	116,10	11,6	47,5	52,52
2	10	20	45	113,90	11,4	58,9	41,13
0,42	40	15	30	34,00	3,4	62,3	37,73
0,075	200	5	15	46,20	4,6	66,9	33,11
Fundo	-			331,10			
Total	-			1000,00	%		

DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA




 RESPONSÁVEL TÉCNICO
 DIOGO NUNES BARBOSA


 CONTROLE DE QUALIDADE
 ENG. WARLLY QUINTILIANO

ANEXO F

**ENCAMINHAMENTO DE DADOS ANALÍTICOS
DIFRAÇÃO DE RAIOS X**

Goiânia, 27 de maio de 2025

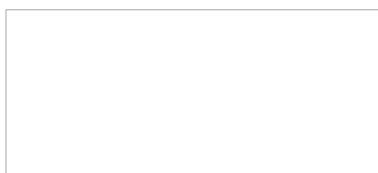
1. Solicitante**Solicitante:** Bruno de Oliveira Costa Couto**Instituição:** Instituto Federal Goiano**AC:** Gabrielle Souza Vieira**E-mail:** bruno.couto@ifgoiano.edu.br, gabriellerv17@hotmail.com**2. Amostras Recebidas****1. Amostra de Solo*****2. Amostra de Resíduo de Construção Civil*****Nomenclatura adotada pelo usuário***3. MÉTODOS****3.1. Preparação de Amostras****3.1.1. Método de preparo da amostra para análise de mineralogia por difração de raios X**

Uma alíquota de aproximadamente 5,0 gramas de amostra foi separada por quarteamento e pulverizada utilizando o moinho *Retsch McCrone*[®], equipado com elementos de moagem de ágata, operando por 10 minutos em 10 ml de água deionizada. Após a moagem, a suspensão foi seca em estufa a 60 °C. Depois de seca, a amostra foi montada em porta amostras do tipo *backload* e levada ao equipamento para a coleta do difratograma.

3.1.2. Método de preparo de amostra para análise dos óxidos maiores por fluorescência de raios X

Uma alíquota de aproximadamente 5,0 gramas de amostra foi separada por quarteamento e pulverizada em moinho planetário de bolas, equipado com elementos de moagem de ágata por 8 minutos. Após a moagem, a amostra foi seca em estufa a 105 °C por 12 horas e destinadas à determinação da perda na ignição (LOI) ou ganho na ignição (GOI).

Para determinação do LOI ou GOI, a amostra foi calcinada a 1000 °C por 5 horas. Em seguida, uma alíquota de 1,0 grama da amostra, previamente calcinada foi fundida com 9,0 gramas de tetraborato de lítio.



3.2. Técnicas Analíticas

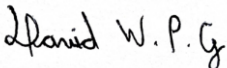
3.2.1. Difração de Raios X

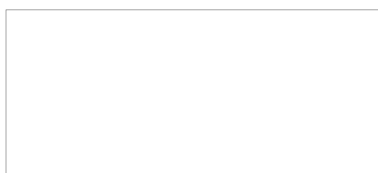
As medidas de difração de raios X (DRX) foram realizadas em um difratômetro *Bruker D8 Discover*, utilizando-se radiação monocromática de um tubo com anodo de cobre acoplado a um monocromador *Johansson* para $K\alpha_1$ operando em 40kV e 40mA, configuração Bragg-Brentano θ - 2θ , detector unidimensional *Lynxeye*®, 2θ de 3° a 100° e passo de 0,01°. As amostras foram mantidas em rotação de 15 rpm durante a medida.

3.2.2. Fluorescência de Raios X

As medidas de fluorescência de raios X (FRX) foram realizadas em um espectrômetro WDS *Bruker S8 Tiger*, equipado com tubo de Rh. Para análise dos elementos maiores, utilizou-se o pacote *GeoQuant M*® *Bruker*, e também um conjunto de padrões adicionais certificados. Os valores obtidos são expressos em porcentagem (%) em massa, em base úmida.

4. Equipe Técnica

 Ma. Flávia Gomes de Souza Difração de Raios X
 David Willyan Pereira Gomides Fluorescência de Raios X
 Dr. Vinicius Ferraz Guimarães Cordenação CRTI



5. Resultados

5.1. DRX

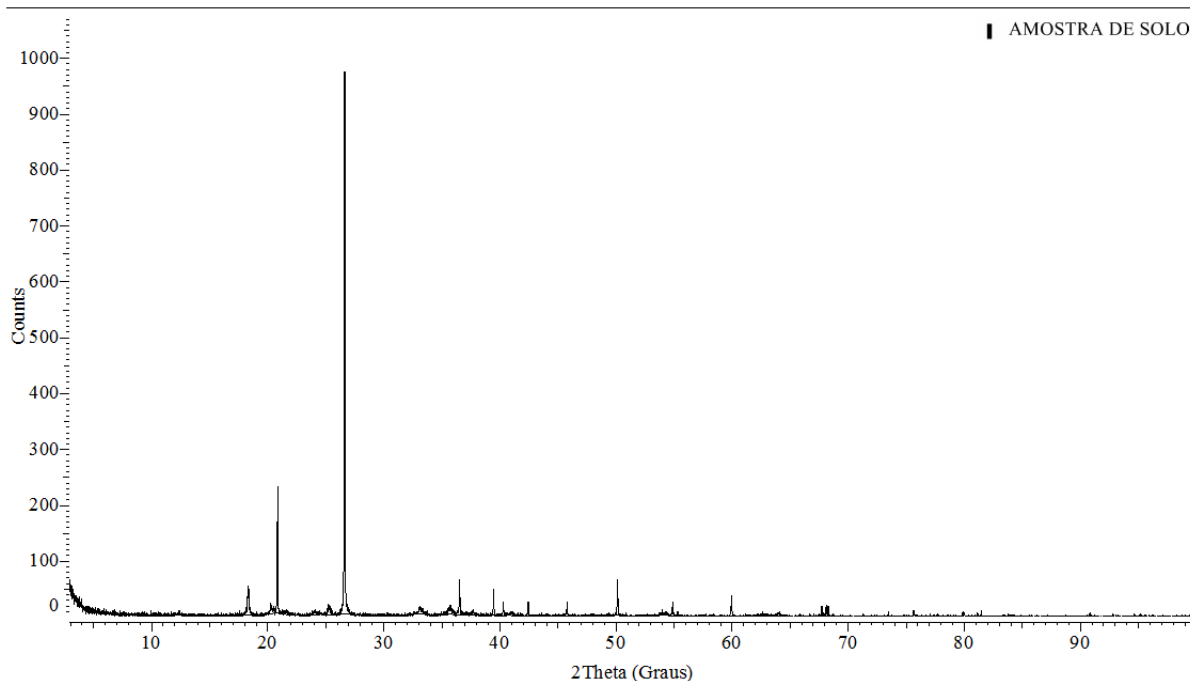


Figura 1 - Difratoograma da Amostra de Solo.

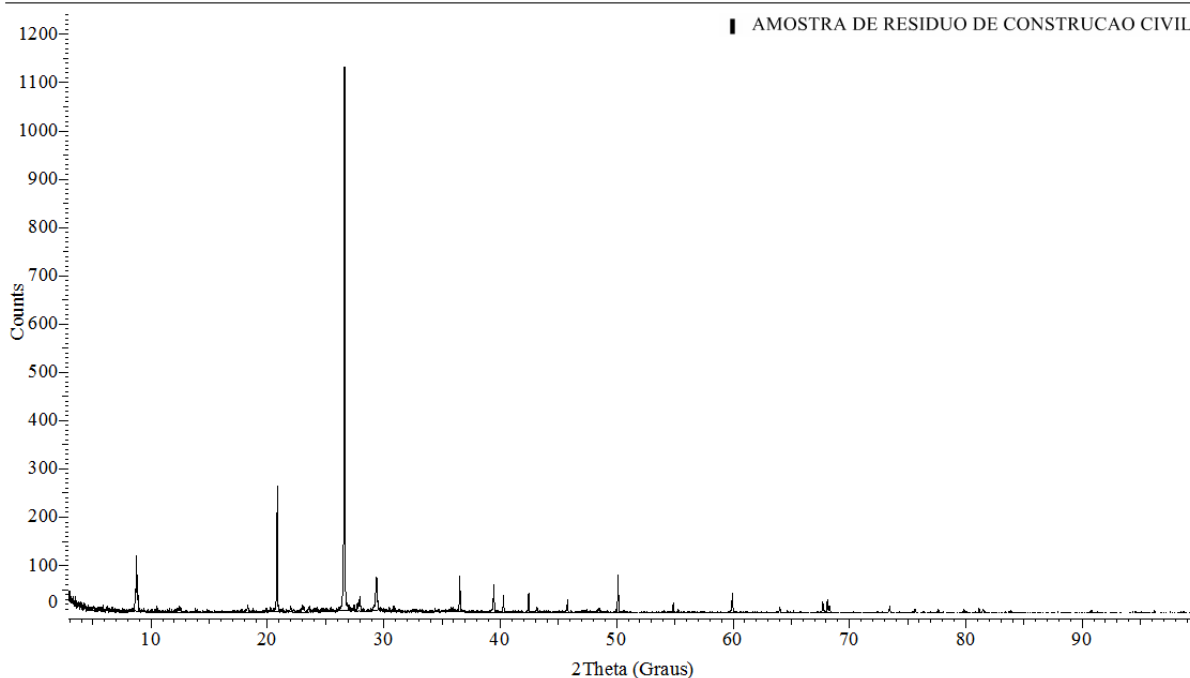
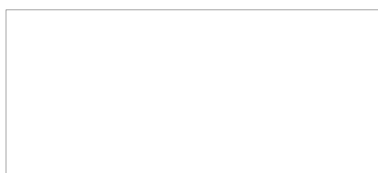


Figura 2 - Difratoograma da Amostra de Resíduo de Construção Civil.



5.2. FRX

Tabela 1 - Análise química dos óxidos maiores analisados.

Óxidos Analisados (%)	AMOSTRAS ANALISADAS	
	BASE ÚMIDA	
	AMOSTRA DE SOLO	AMOSTRA DE RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
SiO₂	54,15	63,03
TiO₂	4,85	0,81
Al₂O₃	14,66	8,54
Fe₂O₃	16,56	4,14
MnO	< LQ	< LQ
MgO	0,16	1,11
CaO	0,16	10,66
Na₂O	< LQ	0,69
K₂O	< LQ	0,97
P₂O₅	< LQ	< LQ
SO₃	< LQ	0,76
LOI	8,72	9,84
Soma	99,27	100,54

(< LQ) = Abaixo do limite quantificável.

