



**AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES ANTT**

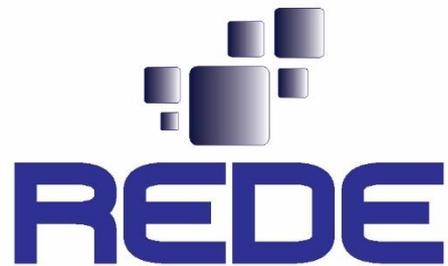
---

**RECURSO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO RDT:  
ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DE UTILIZAÇÃO DE  
REJEITOS DE MINÉRIO DE FERRO EM PAVIMENTOS  
RODOVIÁRIOS**

---

RELATÓRIO FINAL

Nova Lima/MG, Maio de 2018.



**Rede de Pesquisas Aplicadas à Pavimentação**

## RECURSO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO RDT

**RESUMO:** A rodovia BR-040 interliga duas importantes regiões do país e se destaca pela relevância estratégica para o desenvolvimento da economia brasileira. Parte da rodovia corta o chamado Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais – QF. A região é assim denominada em função de sua configuração geométrica peculiar, definida como um polígono de aproximadamente 7.000 km<sup>2</sup> de área e possuir reservas de minérios de ferro, que são exploradas por grandes conglomerados industriais e inúmeras minerações de pequeno e médio porte, gerando enormes quantidades de resíduos. A geração destes resíduos constitui uma das grandes preocupações ambientais do setor. Em geral, os rejeitos da mineração são comumente armazenados em pilhas ou em barragens de contenção, soluções que demandam grande disponibilidade de área e recursos para implantação e manutenção das estruturas. O destino, pelo menos de parte dos rejeitos de mineração, visando a aplicação em obras de pavimentos, pode caracterizar uma alternativa sustentável, por abranger não somente a redução de áreas para sua disposição, mas também reduzir a necessidade da utilização dos solos e agregados naturais. Neste sentido, o presente trabalho abordou o estudo da viabilidade do uso de rejeitos de minério de ferro associados a um solo natural, por meio de um amplo programa experimental de laboratório. Além de ensaios de caracterização química e geotécnica, foram realizados experimentos para determinação do índice suporte Califórnia e do Módulo de Resiliência de um solo e de misturas solo-rejeito, além de classificá-los pela metodologia MCT. Os resultados mostraram que os rejeitos, misturados ao solo laterítico, produziram materiais passíveis de aplicação em camadas de infraestrutura de pavimentos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Rejeitos de minério de ferro, solos lateríticos, pavimentos.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa esquemático do trecho da BR-040 sob concessão da Via040.....	5
Figura 2. Vista do procedimento da coleta de amostras deformadas do solo S1 .....	10
Figura 3. Vista da laterita (S1) .....	11
Figura 4. Vista do rejeito R1 .....	11
Figura 5. Vista do rejeito R2 .....	11
Figura 6. Vista do rejeito R3 .....	12
Figura 7. Detalhe do cone de penetração padrão (ensaio para determinação do LL) .....	13
Figura 8. Detalhe do cone de penetração padrão (ensaio para determinação do LL) .....	14
Figura 9. Detalhe da tentativa de utilização do Aparelho de Casagrande .....	14
Figura 10. Vista de parte do procedimento para determinação do limite de plasticidade.....	15
Figura 11. Desenho esquemático do funcionamento do granulômetro a laser.....	17
Figura 12. Difratoograma de raios-X (solo S1).....	19
Figura 13. Difratoograma de raios-X (rejeito R1).....	20
Figura 14. Difratoograma de raios-X (rejeito R2).....	20
Figura 15. Difratoograma de raios-X (rejeito R3).....	20
Figura 16. Vista dos CP's imersos (ensaios de expansão) – ensaio ISC (CBR) .....	22
Figura 17. Detalhe da montagem da etapa de penetração – ensaio ISC (CBR) .....	23
Figura 18. Curva Tensão Desviadora <i>versus</i> Módulo de Resiliência (Solo S1) .....	27
Figura 19. Curva Tensão Desviadora <i>versus</i> Módulo de Resiliência .....	27
Figura 20. Curva Tensão Desviadora <i>versus</i> Módulo de Resiliência .....	28
Figura 21. Curva Tensão Desviadora <i>versus</i> Módulo de Resiliência .....	28
Figura 18. Curvas Tensão Desviadora <i>versus</i> Módulo de Resiliência.....	29
Figura 19. Ábaco de classificação MCT das amostras estudadas .....	30

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Identificação das amostras dos resíduos de minério de ferro .....	10
Tabela 2. Identificação do solo coletado .....	10
Tabela 3. Resultados da determinação da massa específica dos grãos .....	12
Tabela 4. Resultados dos limites de consistência.....	15
Tabela 5. Frações granulométricas dos materiais estudados.....	17
Tabela 6. Características e classificação dos materiais estudados .....	17
Tabela 7. Análise química semiquantitativa do solo S1.....	18
Tabela 8. Análise química semiquantitativa do rejeito R1.....	18
Tabela 9. Análise química semiquantitativa do rejeito R2.....	19
Tabela 10. Análise química semiquantitativa do rejeito R3.....	19
Tabela 11. Solo e misturas submetidos aos ensaios mecânicos .....	22
Tabela 12. Resultados dos ensaios de compactação e ISC .....	23
Tabela 13. Dados do ensaio de MR – S1 .....	25
Tabela 14. Dados do ensaio de MR – M9010.....	25
Tabela 15. Dados do ensaio de MR – M8020 .....	26
Tabela 16. Dados do ensaio de MR – M7030 .....	26
Tabela 17. Classificação MCT do solo e das misturas.....	29

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	5
2. OBJETIVOS.....	6
3. CONTEXTO BIBLIOGRÁFICO .....	7
4. PROGRAMA EXPERIMENTAL E ANÁLISES.....	9
4.1 Amostragem dos materiais .....	9
4.2 Determinação da massa específica dos grãos.....	12
4.3 Determinação dos limites de consistência.....	13
4.4 Análise granulométrica .....	15
4.5 Análises química e mineralógica.....	18
4.6 Montagem das misturas.....	21
4.7 Ensaios para determinação do Índice Suporte Califórnia - ISC (CBR).....	22
4.8 Ensaios para determinação do Módulo de Resiliência - MR .....	23
4.9 Ensaios de compactação Mini-MCV e de perda de massa por imersão.....	29
5. PRINCIPAIS CONCLUSÕES DA ETAPA DE PRÉ-EXECUÇÃO .....	30
REFERÊNCIAS .....	32
ANEXOS.....	35

## 1. INTRODUÇÃO

A rodovia BR-040 interliga duas importantes regiões do país (Sudeste ao Centro Oeste) e se destaca pela relevância estratégica para o desenvolvimento da economia brasileira. A via040 é atualmente responsável pela concessão de 936,8 quilômetros da rodovia, entre Brasília (DF) e Juiz de Fora (MG), conforme esquema representado na Figura 1.



Figura 1. Mapa esquemático do trecho da BR-040 sob concessão da Via040

Parte da rodovia corta o chamado Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais – QF. A região é assim denominada em função de sua configuração geométrica peculiar, definida como um polígono de aproximadamente 7.000 km<sup>2</sup> de área, delimitado pelas linhas que ligam as cidades de Itabira, Rio Piracicaba, Mariana, Congonhas, Casa Branca, Piedade de Paraopeba, Serra Azul e Belo Horizonte, e cortado pelos rios das Velhas e Paraopeba.

Constituindo uma das maiores províncias minerais do mundo, a região comporta enormes

reservas de minérios de ferro, exploradas por grandes conglomerados industriais e inúmeras minerações de pequeno e médio porte, gerando enormes quantidades de resíduos que exigem, assim, projetos específicos para a sua disposição ou destino final.

A geração de grandes volumes de resíduos oriundos derivados do processo de extração mineral constitui uma das grandes preocupações ambientais do setor. Em geral, os rejeitos da mineração são comumente armazenados em pilhas ou em barragens de contenção, soluções que demandam grande disponibilidade de área e recursos para implantação e manutenção das estruturas. Paralelamente, além da escassez de recursos naturais, a própria exploração de jazidas minerais para a produção de agregados naturais para aplicação em pavimentos é responsável por significativos impactos ambientais. O destino, pelo menos de parte dos rejeitos de mineração, visando a aplicação em obras de pavimentos, constitui uma alternativa sustentável, por abranger não somente a redução de áreas para sua disposição, mas também reduzir a necessidade da utilização dos agregados naturais.

Neste sentido, a REDE – Rede de Pesquisas Aplicadas à Pavimentação – que realiza pesquisas no âmbito da Geotecnia de Pavimentos, submeteu Plano de Trabalho no segundo semestre de 2017 visando a aprovação deste projeto, vinculada à avaliação da aplicabilidade de rejeitos de minério de ferro em pavimentos rodoviários. O Plano de Trabalho, aprovado pela ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres – através do Ofício N<sup>o</sup> 579/2017/SUINF, foi vinculados aos recursos de RDT 2017-2018.

## **2. OBJETIVOS**

O objetivo desta pesquisa foi estudar a viabilidade técnica de utilização de rejeitos de minério de ferro em infraestrutura de pavimentos, especialmente para camadas de base. O escopo deste estudo está vinculado à etapa de pré-execução, associada aos ensaios de laboratório.

Portanto, objetivou-se a caracterização dos materiais e composições de misturas com os rejeitos de minério de ferro foram previamente caracterizados em laboratório, para obtenção dos parâmetros mecânicos necessários para o dimensionamento das estruturas.

Em síntese, o trabalho objetivou:

- Definir e amostrar os rejeitos e o solo para a realização da pesquisa;

- Caracterizar geotecnicamente os materiais;
- Caracterizar quimicamente os materiais;
- Propor misturas solo-rejeito, a partir da escolha do melhor rejeito caracterizado granulometricamente;
- Realizar ensaios compactação e de índice suporte Califórnia – ISC para as misturas e para o solo;
- Realizar ensaios triaxiais dinâmicos para determinação do Módulo de Resiliência (MR) para todas as misturas e para o solo;
- Realizar ensaios de mini-MCV e perda de massa por imersão, com aplicação da Metodologia MCT para o solo e para as melhores misturas;
- Definir, a partir do programa experimental realizado, a viabilidade de uso do rejeito escolhido em obras de pavimentação.

### **3. CONTEXTO BIBLIOGRÁFICO**

Diversos fatores aceleram a expansão de investimentos diretos no setor da mineração, tanto para a aquisição de unidades em operação quanto para a exploração de novas reservas. A indústria mineradora é responsável pelas atividades destinadas a pesquisar, descobrir, mensurar, extrair, tratar ou beneficiar e transformar recursos minerais de forma a torná-los benefícios econômicos e sociais.

Na execução destas atividades, são gerados os rejeitos, caracterizados como materiais remanescentes dos processos extrativos (beneficiamento), cujas características granulométricas são dependentes diretamente do tipo de minério bruto envolvido no processo, além das questões relacionadas ao processo industrial de beneficiamento.

De maneira geral, os rejeitos podem abranger materiais grosseiros até faixas de granulometria muito fina (lamas), com significativas variações em termos de comportamento geotécnico. No passado, a extração de substâncias minerais se utilizou de técnicas e ferramentas rudimentares, bem como nas etapas de tratamento e beneficiamento. A geração de rejeitos e os impactos decorrentes de sua disposição no meio ambiente eram considerados relativamente desprezíveis,

cujos descartes eram realizados sem as devidas precauções ambientais. Registros deste tipo de disposição aconteceram nos primórdios da mineração no Brasil, há cerca de 300 anos, cujas principais tipologias minerais eram o ouro e, posteriormente, o diamante (IBRAM, 2016).

Uma alternativa para a minimização dos impactos associados à disposição convencional dos rejeitos é a o seu reaproveitamento, buscando a sua aplicação em obras de engenharia. A transformação de rejeitos oriundos do beneficiamento de minério de ferro em subproduto pode atender às necessidades ambientais, técnicas e econômicas. O atendimento a fatores ambientais visa dar um destino apropriado aos resíduos do beneficiamento do minério de ferro. Na área técnica e econômica, são requeridas condições de emprego desses produtos de forma que possam ser aplicados em outras áreas de atividades econômicas, como por exemplo, em obras de infraestrutura viária.

Neste contexto, para assegurar o atendimento de todas as necessidades citadas, é de fundamental importância validar o comportamento e a confiabilidade no emprego de potenciais subprodutos (rejeitos). Por isso, torna-se imperativo estabelecer estudos aprofundados e sistemáticos nesses materiais, buscando identificar, a partir de tecnologias convencionais e não convencionais, o seu real potencial frente a determinadas aplicações na engenharia.

Segundo Fernandes *et al.* (2004), os solos finos constituem materiais normalmente rejeitados para composição das camadas de superestrutura das vias de transporte por não atenderem os padrões técnicos estabelecidos. Em estudo, com rejeito da mina de Gongo Soco, os autores concluíram que, com relação à resistência, a característica arenosa das partículas que compõem o rejeito e as misturas, favoreceu a aplicabilidade destes materiais em obras rodoviárias, em que os solos mais arenosos tendem a apresentar uma melhor capacidade de suporte e resistência ao tráfego. Os autores avaliaram ainda que, as misturas melhoram as condições de estabilidade do rejeito empregado.

Outros estudos destacam o uso de rejeitos de mineração. Silveira (2010) avaliou a potencialidade do uso de dois resíduos finos provenientes do beneficiamento das rochas de micaxisto e granito em camadas de pavimento. Em conjunto com os resíduos, foi utilizado, para fins do estudo, um solo tropical oriundo da região de Goiânia/GO. A partir de um programa que envolveu investigações baseadas na metodologia MCT através dos ensaios de Mini-MCV, Mini-CBR, expansão e perda de massa por imersão, ensaios de compressão simples, e ensaios triaxiais dinâmicos para avaliação do módulo de resiliência, o autor concluiu sobre a potencialidade de

utilização dos resíduos em camadas de pavimentos rodoviários.

Dantas (2015) trabalho a cerca do reuso dos resíduos oriundos do beneficiamento do minério de ferro é a sua utilização em camadas de base, sub-base, reforço de subleito e subleito de pavimentos estabilizados com um solo granular em diferentes proporções. O estudo contemplou a avaliação com base em ensaios de compactação e CBR.

Mais recentemente, Rodrigues (2018) avaliou o potencial de aproveitamento do rejeito de mineração em substituição parcial a agregados minerais convencionalmente empregados em bases e/ou sub-bases estabilizadas granulometricamente. O autor verificou, através de ensaios de resistência e estabilidade dimensional, o potencial técnico de aplicabilidade técnica de rejeitos de espirais em misturas com solos da região de Rio Piracicaba ou mesmo sendo utilizado na sua forma pura devido ao elevado CBR e baixa expansibilidade.

Existem ainda trabalhos que retratam o uso de resíduos em pavimentos, mas são voltados para cinzas, lodos e resíduos agregados de construção civil. Particularmente, existem poucos estudos quando o resíduo é o rejeito de mineração, visto que os volumes gerados são elevados e necessitam, além da questão ambiental, de viabilidade econômica significativa para justificar a sua aplicação.

## **4. PROGRAMA EXPERIMENTAL E ANÁLISES**

### **4.1 Amostragem dos materiais**

Os rejeitos investigados foram disponibilizados pela Mineradora ‘New Steel’, resultantes do processo de beneficiamento do minério de ferro para obtenção de ferro concentrado. Trata-se de rejeitos com baixo teor de ferro e sem valor comercial. Todas as amostras foram recebidas no Centro Tecnológico de Geotecnia Aplicada – CTGA/NUGEO, da Universidade Federal de Ouro Preto.

Foram disponibilizados 3 (três) tipos de resíduos, sendo identificados neste estudo conforme a Tabela 1. Além dos rejeitos, um solo também fez parte do escopo do estudo (Tabela 2). Este solo, previamente identificado como “Laterita”, foi coletado pela equipe do NUGEO na Mineradora ‘Ferro +’ (Figura 2), localizada entre os municípios de Congonhas e Ouro Preto, às margens da rodovia BR-040.

Tabela 1. Identificação das amostras dos resíduos de minério de ferro

Descrição do rejeito	Identificação
Rejeito 10 + 0,15mm	R1
Rejeito fino	R2
Filtro de manga	R3

Tabela 2. Identificação do solo coletado

Descrição do solo	Identificação
Laterita	S1



Figura 2. Vista do procedimento da coleta de amostras deformadas do solo S1

Inicialmente, cada material foi espalhado sobre uma lona plástica, durante 2 dias, para secagem ao ar. Após a secagem de todas as amostras de rejeito e solo foram homogeneizados com auxílio de uma enxada, objetivando a homogeneização. Posteriormente, foram novamente dispostas em sacos plásticos de 60 kg e organizadas no Centro de Recebimento e Triagem de Amostras do CTGA/NUGEO. Fotos do solo e dos rejeitos são destacadas nas Figuras 3 a 6.



Figura 3. Vista da laterita (S1)



Figura 4. Vista do rejeito R1



Figura 5. Vista do rejeito R2



Figura 6. Vista do rejeito R3

#### 4.2 Determinação da massa específica dos grãos

A densidade dos grãos ( $G_s$ ) dos rejeitos de minério de ferro está condicionada ao teor de ferro presente nos mesmos. As partículas de ferro, por si só, apresentam massa específica dos grãos em torno de  $5,25 \text{ g/cm}^3$ , enquanto que os grãos de quartzo são caracterizados por possuírem massa específica em torno de  $2,65 \text{ g/cm}^3$ .

Portanto, os rejeitos de minério de ferro, que são compostos basicamente de partículas de quartzo e de hematita, tendem a apresentar uma faixa de variação da densidade dos grãos entre estes dois extremos. Sua variação pode ser significativa, mesmo a partir de baixas oscilações relativas ao teor de ferro apresentado.

Para obtenção da densidade dos grãos, inicialmente determinou-se a massa específica dos grãos de todos os materiais pesquisados. Pela inexistência de uma norma brasileira específica vigente, a massa específica dos grãos ( $\rho_s$ ) foi determinada com base nos procedimentos da ASTM D-854 (ASTM, 2014). Os resultados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Resultados da determinação da massa específica dos grãos

Amostra	Identificação	$\rho_s \text{ (g/cm}^3\text{)}$
Rejeito 10 + 0,15mm	R1	2,664
Rejeito fino	R2	2,688
Filtro de manga	R3	3,778
Laterita	S1	3,018

Os solos lateríticos possuem uma fração areia com grãos de quartzo envolvidos por uma película de óxidos de ferro e alumínio, que concede a elevação da massa específica dos sólidos. O solo envolvido nesta pesquisa apresentou massa específica de  $3,02 \text{ g/cm}^3$ , valor provavelmente influenciado pela presença do ferro.

#### 4.3 Determinação dos limites de consistência

Pela melhor trabalhabilidade, optou-se pela adoção do Cone de Penetração, norma BS-1377 (BSI, 1975), para determinação do Limite de Liquidez (LL). De acordo com os procedimentos da BS-1377 (BSI, 1975), o ensaio consiste em se medir a penetração de um cone padronizado sob condições especificadas de peso, ângulo e tempo de queda que penetra verticalmente em uma amostra de solo previamente preparada. O cone padrão possui um ângulo do vértice de  $30^\circ$  e peso de 80g, sendo penetrado no solo por um período de 5 segundos quando liberado em queda livre a partir da posição do ponto de contato com a superfície do solo (Figura 7). Com isso, o problema fica reduzido a se encontrar uma relação entre a resistência ao cisalhamento do solo e o teor de umidade correspondente ao LL. Com os valores de teor de umidade ( $w$ ) e penetração ( $d$ ) constrói-se um gráfico, no qual as ordenadas são as penetrações e as abscissas os correspondentes teores de umidade. Em seguida, interpola-se uma reta entre os pontos determinados no gráfico.

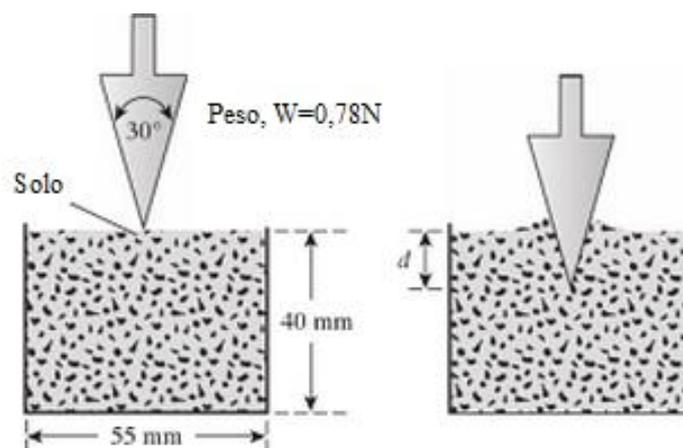


Figura 7. Detalhe do cone de penetração padrão (ensaio para determinação do LL)

O LL é expresso pelo teor de umidade correspondente à penetração de 20 mm. A Figura 8 mostra parte do procedimento realizado para determinação do limite de liquidez (LL) para a laterita (S1).

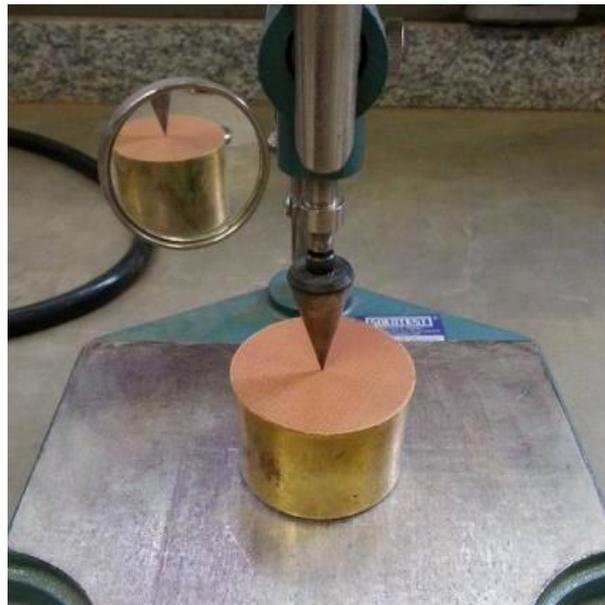


Figura 8. Detalhe do cone de penetração padrão (ensaio para determinação do LL)

Ressalta-se que a tentativa de utilização do Aparelho de Casagrande NBR-6459 (ABNT, 2017a) não foi assertiva, visto que, durante o procedimento de realização da ranhura, as amostras deslizavam ou trincavam, não permitindo a conclusão da etapa (Figura 9). Este comportamento pode estar associado à presença de silte e à forma dos grãos da fração argila, especialmente nas amostras de rejeitos.



Figura 9. Detalhe da tentativa de utilização do Aparelho de Casagrande

O Limite de plasticidade foi determinado com base nos procedimentos prescritos na NBR-7180 (ABNT, 2016). Parte do procedimento é exposto na Figura 10.



Figura 10. Vista de parte do procedimento para determinação do limite de plasticidade

Os resultados dos ensaios para determinação dos limites de consistência são apresentados na Tabela 4. Ressalta-se a impossibilidade de resultados associados aos rejeitos R1 e R2, em função da característica silto-arenosa.

Tabela 4. Resultados dos limites de consistência

<b>Amostra</b>	<b>Identificação</b>	<b>LL (%)</b>	<b>LP (%)</b>	<b>IP</b>
Rejeito 10 + 0,15mm	R1	NL	NP	-
Rejeito fino	R2	NL	NP	-
Filtro de manga	R3	34	25	9
Laterita	S1	43	27	17

#### 4.4 Análise granulométrica

As curvas granulométricas de todos os materiais estudados foram obtidas inicialmente com os procedimentos na NBR-7181 (ABNT, 2017b) e as respectivas frações granulométricas foram estabelecidas a partir da NBR 6502 (ABNT, 1995). No entanto, ressalta-se que os procedimentos dos laboratórios do Centro Tecnológico de Geotecnia Aplicada do NUGEO inserem a caracterização de rejeitos de mineração através de granulometria a laser.

Assim, posteriormente, para as amostras de rejeito, a análise granulométrica foi realizada com o uso do granulômetro a laser. O analisador de tamanho de partícula por difração a laser (granulômetro a laser) utilizado foi o Mastersizer 2000, do CTGA/NUGEO, que proporciona a obtenção de distribuições rápidas e precisas do tamanho das partículas para dispersões secas e úmidas, com capacidade de medições que atingem até 0,0001 mm. O equipamento mede a intensidade da luz espalhada, ao tempo em que um feixe de laser, emitido pelo sonar, interage com as partículas dispersas da amostra. Os dados são utilizados para o cálculo da distribuição do tamanho das partículas obtidas, a partir do padrão de espalhamento gerado.

O equipamento determina a quantidade correta da concentração das partículas pela medição da quantidade de luz do laser que foi perdida ao passar pela amostra. Tal efeito é conhecido como 'obscurecimento', cuja saída é apresentada em porcentagem. A amostra deve ser acrescentada ao sistema até que se enquadre nesse intervalo. Com os dados obtidos, um software específico processa os resultados e apresenta a curva de distribuição granulométrica do material. Estudos recentes com o uso do granulômetro a laser têm comprovado a sua eficiência para alguns tipos de solos e rejeitos (Oliveira *et al.*, 2016).

Os ensaios foram realizados em quatro condições: sem o uso do dispersante químico e/ou físico (somente agitação); com o uso do dispersante químico (hexametáfosfato de sódio) somente; com o uso somente do sonar (uma espécie de dispersor sônico); e com o uso do hexametáfosfato e do sonar, simultaneamente, possibilitando uma comparação entre os quatro arranjos e destes com o método convencional tratado pela norma brasileira.

O curto período de análise, a alta repetibilidade, a utilização de pouca amostra (cerca de 1g) e a possibilidade de determinar partículas finas de até 0,2  $\mu\text{m}$  são algumas das vantagens da análise granulométrica por difração a laser. Trata-se de um método simples e rápido, facilitando assim a sua utilização e ampliação deste uso.

A metodologia desse ensaio é baseada no princípio de que as partículas possuem um determinado tamanho e, por isso, quando dissolvidas em um meio padronizado e submetidas à uma luz incidente, absorvem e difratam parte da luz em um determinado ângulo. Esse ângulo de difração é inversamente proporcional ao tamanho da partícula. Um desenho esquemático do funcionamento do granulômetro a laser é mostrado na Figura 11. As frações granulométricas determinadas são apresentadas na Tabela 5.

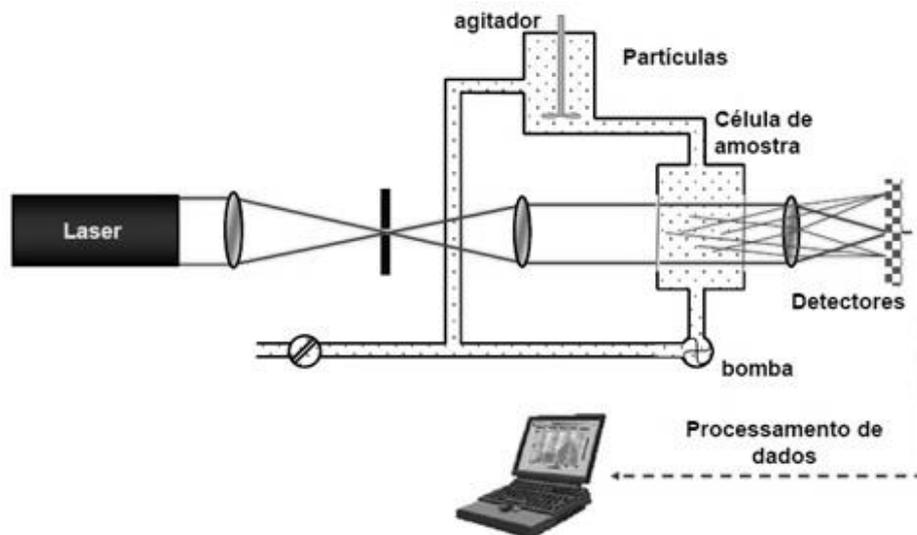


Figura 11. Desenho esquemático do funcionamento do granulômetro a laser (Adaptado de Allen, 1981)

Tabela 5. Frações granulométricas dos materiais estudados

Amostra	Ident.	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	Pedregulho (%)
Rejeito 10 + 0,15mm	R1	0	0	75	25
Rejeito fino	R2	1	34	65	0
Filtro de manga	R3	3	97	0	0
Laterita	S1	32	13	20	35

Com base nos percentuais obtidos e nos limites de consistência apresentados, os materiais foram inicialmente classificados pela TRB (*Transportation Research Board*), conforme dados expostos na Tabela 6.

Tabela 6. Características e classificação dos materiais estudados

Características e Classificação	R1	R2	R3	S1	
(% passante)	Peneira #10 (2,00mm)	75	100	100	65
	Peneira # 40 (0,42mm)	58	99	100	53
	Peneira # 200 (0,074mm)	0	53	100	46
Consistência	LL (%)	NL	NL	34	43
	LP (%)	NP	NP	25	27
	IP (%)	-	-	9	16
Classificação TRB	A3	A4	A4	A-7-5	

#### 4.5 Análises química e mineralógica

A análise química dos materiais foi realizada de forma semiquantitativa, por meio de espectrometria de raios-X. A análise mineralógica foi realizada por difratometria de raios-X, em equipamentos pertencentes ao NanoLab, da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. A difratometria de raios-X é a principal técnica utilizada na identificação das fases presentes nas amostras.

Os resultados das análises realizadas são apresentados nas Tabelas 7 a 10. As Figuras 12 a 15 referem-se aos difratogramas.

Tabela 7. Análise química semiquantitativa do solo S1

Composto		Teor	Composto		Teor
MgO	ppm	972,0	MnO	ppm	461,1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	23,889	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	55,731
SiO <sub>2</sub>	%	17,299	NiO	ppm	241,8
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	0,471	ZnO	ppm	68,3
SO <sub>3</sub>	ppm	717,0	Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ppm	78,9
Cl	ppm	39,8	Rb <sub>2</sub> O	ppm	196,3
K <sub>2</sub> O	%	0,139	SrO	ppm	68,6
CaO	%	0,112	ZrO <sub>2</sub>	ppm	637,5
TiO <sub>2</sub>	%	1,858	Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ppm	244,2
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ppm	519,0	PbO	ppm	243,9
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ppm	474,3	Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ppm	48,0

Tabela 8. Análise química semiquantitativa do rejeito R1

Composto		Teor	Composto		Teor
MgO	ppm	499,7	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	6,300
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	2,385	NiO	ppm	3,5
SiO <sub>2</sub>	%	90,251	CuO	ppm	37,4
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	0,412	ZnO	ppm	49,4
Cl	%	0,109	Rb <sub>2</sub> O	ppm	6,7
K <sub>2</sub> O	%	0,132	Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ppm	30,6
CaO	%	0,219	Re	ppm	2,2
TiO <sub>2</sub>	ppm	305,5	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ppm	296,4
MnO	ppm	676,2	Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ppm	26,3

Tabela 9. Análise química semiquantitativa do rejeito R2

Composto		Teor	Composto		Teor
MgO	ppm	599,1	CuO	ppm	48,0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	2,208	ZnO	ppm	17,4
SiO <sub>2</sub>	%	68,322	Rb <sub>2</sub> O	ppm	43,1
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	0,558	SrO	ppm	0,8
Cl	ppm	999,1	Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ppm	45,3
CaO	%	0,122	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ppm	36,6
MnO	%	0,152	Re	ppm	13,4
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	28,378	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ppm	52,9
NiO	ppm	46,4	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ppm	706,5

Tabela 10. Análise química semiquantitativa do rejeito R3

Composto		Teor	Composto		Teor
MgO	%	0,115	MnO	%	0,750
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	6,035	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	76,392
SiO <sub>2</sub>	%	15,438	Rb <sub>2</sub> O	ppm	555,3
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	0,577	SrO	ppm	0,6
SO <sub>3</sub>	ppm	381,0	ZrO <sub>2</sub>	ppm	41,0
Cl	ppm	383,0	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ppm	361,0
K <sub>2</sub> O	ppm	558,8	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	0,277
CaO	ppm	920,1	Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ppm	608,6
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ppm	157,5	HfO <sub>2</sub>	ppm	298,1

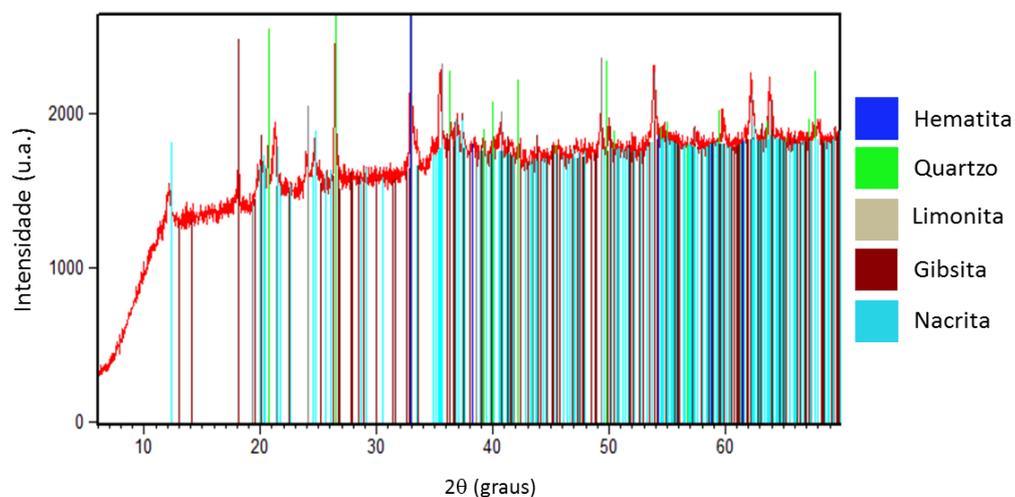


Figura 12. Difratoograma de raios-X (solo S1)

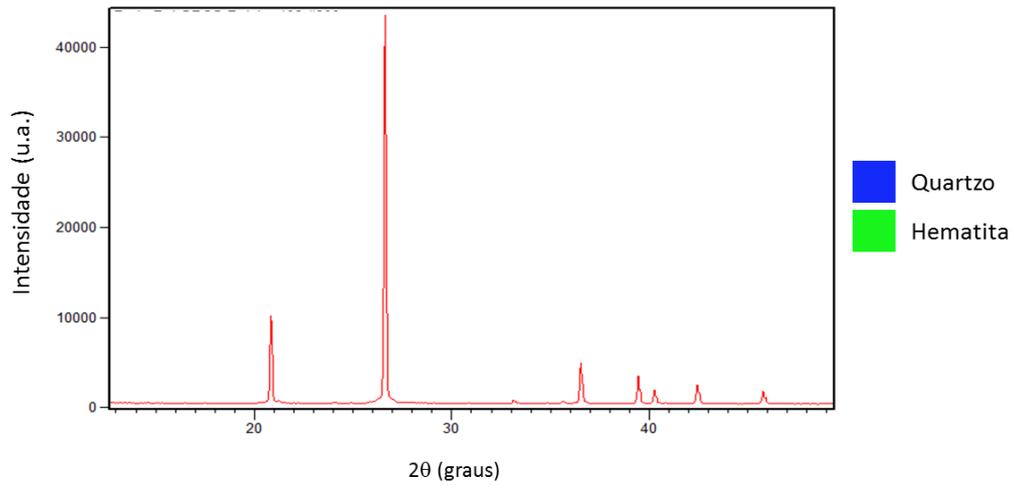


Figura 13. Difratoograma de raios-X (rejeito R1)

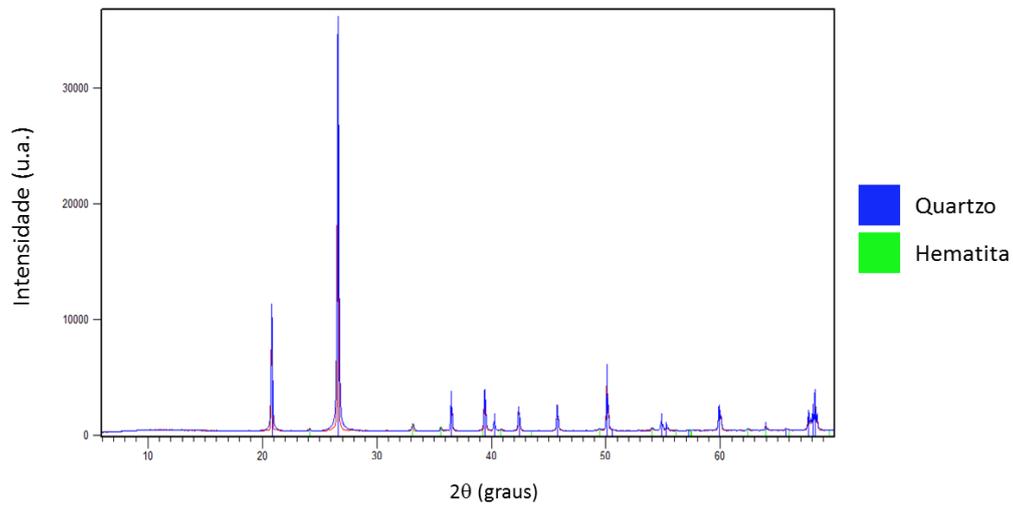


Figura 14. Difratoograma de raios-X (rejeito R2)

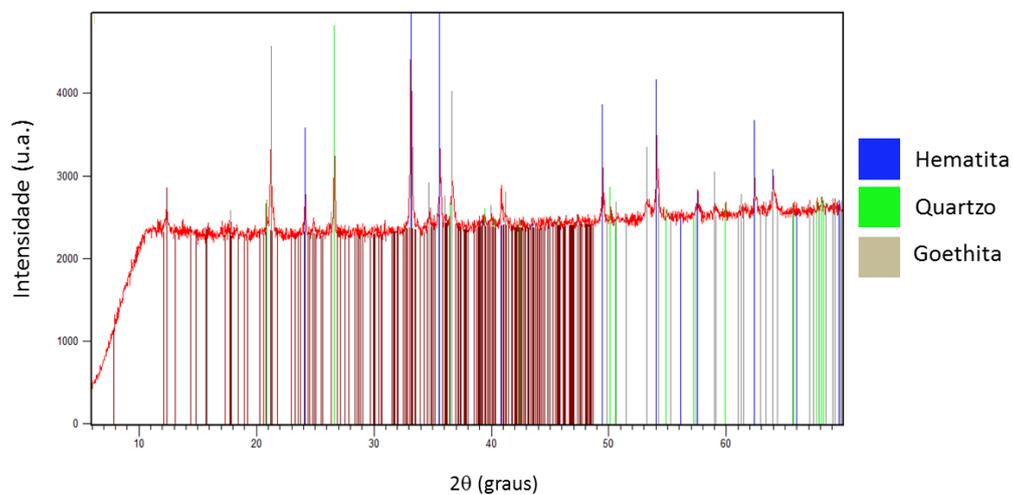


Figura 15. Difratoograma de raios-X (rejeito R3)

As análises de espectrometria de raios-X do solo S1 mostraram a presença majoritária de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , composição típica dos solos lateríticos. Os rejeitos R1, R2 e R3 tiveram a composição representada, em sua maioria por  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Ressalta-se que o maior percentual de óxido de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) foi encontrado no rejeito R3, já percebido anteriormente na elevada massa específica dos grãos.

Os minerais detectados na difratometria de raios-X do solo inicialmente chamado de laterita, têm significância para classifica-lo desta forma. Os solos lateríticos possuem uma fração areia com grãos de quartzo envolvidos por uma película de óxidos de ferro e alumínio, que concede a elevação da massa específica seca máxima dos solos. A fração argila apresenta minerais de baixa atividade coloidal, como a caulinita e óxidos de ferro e alumínio, como a goethita, a gipsita e a hematita, que conferem aos solos compactados uma baixa ou nula expansão e elevadas resistências mecânicas (Nogami e Villibor, 1995).

A fração argila dos do solo S1 caracteriza-se por apresentar uma porcentagem de óxido hidratado de ferro natural, produto da decomposição da hematita, como a limonita, hidróxidos de alumínio, como a gipsita e a nacrita, que consiste em silicato argiloso de alumínio e ocorre em estado polimorfo com caulinita. A difração ainda destaca pequenas porcentagens de óxidos anidros de ferro, como a hematita, que é responsável pela cor avermelhada.

Segundo Nogami e Villibor (1995), os óxidos e hidróxidos de ferro e de alumínio” apesar de possuírem elevada superfície específica e diminutas dimensões, não são plásticos, ou são pouco plásticos, não são expansivos, possuem capacidade de troca catiônica desprezível, nas condições de pH predominantes nos solos. Além disto, os óxidos de ferro e de alumínio hidratados possuem propriedades cimentantes, desempenhando importante papel na formação de torrões ou grumos e de concreções lateríticas.”

No caso dos rejeitos, além da evidência clara da hematita e do quartzo em todos os rejeitos de minério de ferro analisados, o R3 (filtro de manga) amostras apresentaram também uma presença marcante de goethita. Esta composição bastante semelhante está relacionada à origem do rejeito (minério de ferro).

#### **4.6 Montagem das misturas**

Visando a realização dos ensaios mecânicos, foi escolhido o rejeito R1 (melhor arranjo granulométrico) para compor as misturas com a laterita (S1). Além das misturas propostas, os

ensaios para determinação do índice suporte Califórnia (ISC) e módulo resiliente (MR) também foram realizados para a laterita pura. As misturas foram identificadas como M9010, M8020 e M7030 (Tabela 11).

Tabela 11. Solo e misturas submetidos aos ensaios mecânicos

Descrição	Identificação
Laterita	S1
90% de S1 + 10% de R1	M9010
80% de S1 + 20% de R1	M8020
70% de S1 + 30% de R1	M7030

#### 4.7 Ensaios para determinação do Índice Suporte Califórnia - ISC (CBR)

O ensaio para a determinação do CBR foi realizado segundo a norma NBR-9895 (ABNT, 2017c). Foram moldados CP's (corpos de prova) para 5 pontos, coincidentes com a curva de compactação, cujo ensaio foi realizado na energia modificada. Os ensaios foram realizados para o solo S1 e para as três misturas.

Detalhes das etapas de expansão e penetração são apresentados realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos do CTGA/NUGEO nas Figuras 16 e 17. Os resultados, considerando o CBR associado à umidade ótima, são mostrados na Tabela 12.



Figura 16. Vista dos CP's imersos (ensaios de expansão) – ensaio ISC (CBR)



Figura 17. Detalhe da montagem da etapa de penetração – ensaio ISC (CBR)

Tabela 12. Resultados dos ensaios de compactação e ISC

Índice / Propriedade	S1	M9010	M8020	M7030
Massa esp. seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )	2,13	2,15	2,20	2,20
Umidade ótima (%)	18,18	16,50	14,6	12,50
Expansão (%)	0,00	0,00	0,00	0,00
CBR (%)	53,7	44,2	90,8	75,4

#### 4.8 Ensaio para determinação do Módulo de Resiliência - MR

A obtenção do módulo de resiliência através de ensaios triaxiais dinâmicos em laboratório é um procedimento considerado especial, por exigir equipamentos relativamente complexos, tornando restrito o seu uso fora das instituições acadêmicas ou de pesquisa. Este fato explica a pouca experiência, no Brasil, no que diz respeito à determinação das propriedades geotécnicas dinâmicas dos solos (Barros, 1997), especialmente quando se trata de solos.

No entanto, o parâmetro que melhor representa o comportamento mecânico de materiais quanto às solicitações repetidas de carga, visando o projeto de pavimento é o módulo de resiliência, e isso se aplica aos pavimentos.

Os ensaios para determinação do Módulo de Resiliência (MR) foram realizados pela Pattrol, conforme relatório N° PAT-RT-LAB-1947.18-00. Foram realizados ensaios triaxiais dinâmicos em amostras reconstituídas, seguindo os métodos de ensaio do Departamento Nacional de Infraestrutura Terrestre – DNIT134 (DNIT, 2010).

O Módulo de Resiliência (MR) é a relação entre a tensão desviadora ( $\sigma_d$ ), aplicada repetidamente em uma amostra de solo e a correspondente deformação específica vertical recuperável ou resiliente ( $\epsilon_r$ ) (Equação 1). A deformação resiliente é compreendida na Mecânica dos Pavimentos como sendo a deformação elástica ou recuperável dos solos e das estruturas dos pavimentos sob a ação de cargas repetidas. Reflexos de tais deformações repetidas podem ser vistos nos revestimentos asfálticos que apresentam trincamento progressivo e às vezes prematuro (Marangon, 2004).

$$MR = \frac{\sigma_d}{\epsilon_r} \quad (1)$$

Pesquisas que contemplam o estudo do comportamento dos solos sob condições de carregamento dinâmico indicam que o módulo de resiliência depende da condição de carregamento, do estado de tensão, da natureza e do estado físico do solo. Segundo Neto (2004), o MR é usado como entrada de dados para o cálculo de tensões e deformações nos diferentes pontos do pavimento. Ressalta-se que os materiais de pavimentação não são elásticos, sendo o uso da teoria da elasticidade uma aproximação. Apesar de dependente do tempo e da história de tensões, o comportamento de alguns materiais de pavimentação pode ser aproximado como elástico não-linear.

Neste trabalho, os corpos de prova foram moldados com diâmetro aproximado de 71 mm e altura de 144 mm. Os ensaios foram moldados obedecendo as condições de massa específica seca máxima e umidade ótima (ensaio de compactação). O ensaio foi realizado em células de confinamento em amostras isoladas por membranas látex.

Os resultados obtidos são apresentados nas Tabelas 13 a 16, associados, respectivamente, ao solo S1 e às misturas M9010, M8020 e M7030.

Tabela 13. Dados do ensaio de MR – S1

$\sigma_3$ (MPa)	$\sigma_d$ (MPa)	$\epsilon_\alpha$	MR (MPa)
0,021	0,021	0,000436	48
	0,041	0,000223	186
	0,062	0,000522	119
0,035	0,035	0,000205	168
	0,069	0,000463	149
	0,103	0,000515	200
0,050	0,05	0,000216	234
	0,103	0,000390	264
	0,155	0,000750	207
0,069	0,069	0,000319	216
	0,138	0,000642	215
	0,207	0,000960	215
0,103	0,103	0,000553	186
	0,207	0,000904	229
	0,309	0,001397	221
0,138	0,138	0,000600	230
	0,275	0,001262	218
	0,412	0,001600	258

Tabela 14. Dados do ensaio de MR – M9010

$\sigma_3$ (MPa)	$\sigma_d$ (MPa)	$\epsilon_\alpha$	MR (MPa)
0,021	0,021	0,000205	101
	0,041	0,000279	149
	0,062	0,000533	117
0,035	0,035	0,000220	157
	0,069	0,000582	118
	0,103	0,000750	137
0,050	0,05	0,000432	117
	0,103	0,000607	170
	0,155	0,000809	192
0,069	0,069	0,000388	178
	0,138	0,000627	220
	0,207	0,000869	238
0,103	0,103	0,000508	202
	0,207	0,000709	292
	0,309	0,000935	331
0,138	0,138	0,000445	310
	0,275	0,000726	378
	0,412	0,001253	329

Tabela 15. Dados do ensaio de MR – M8020

$\sigma_3$ (MPa)	$\sigma_d$ (MPa)	$\epsilon_\alpha$	MR (MPa)
0,021	0,021	0,000286	72
	0,041	0,000351	118
	0,062	0,000429	145
0,035	0,035	0,000271	128
	0,069	0,000768	90
	0,103	0,000353	292
0,050	0,05	0,000736	69
	0,103	0,001007	102
	0,155	0,000575	270
0,069	0,069	0,000921	75
	0,138	0,001178	117
	0,207	0,000570	363
0,103	0,103	0,000111	927
	0,207	0,001580	131
	0,309	0,001510	205
0,138	0,138	0,000724	191
	0,275	0,001366	201
	0,412	0,001969	209

Tabela 16. Dados do ensaio de MR – M7030

$\sigma_3$ (MPa)	$\sigma_d$ (MPa)	$\epsilon_\alpha$	MR (MPa)
0,021	0,021	0,000286	72
	0,041	0,000503	82
	0,062	0,000731	85
0,035	0,035	0,000353	98
	0,069	0,000738	93
	0,103	0,001058	97
0,050	0,05	0,000538	94
	0,103	0,001011	102
	0,155	0,001399	111
0,069	0,069	0,000734	94
	0,138	0,001296	106
	0,207	0,001520	136
0,103	0,103	0,000682	151
	0,207	0,000128	162
	0,309	0,001510	205
0,138	0,138	0,000666	207
	0,275	0,001237	222
	0,412	0,001809	228

As curvas  $\sigma_d$  versus MR são mostradas separadamente nas Figuras 18 a 21. A Figura 18 mostra todas elas sobrepostas.

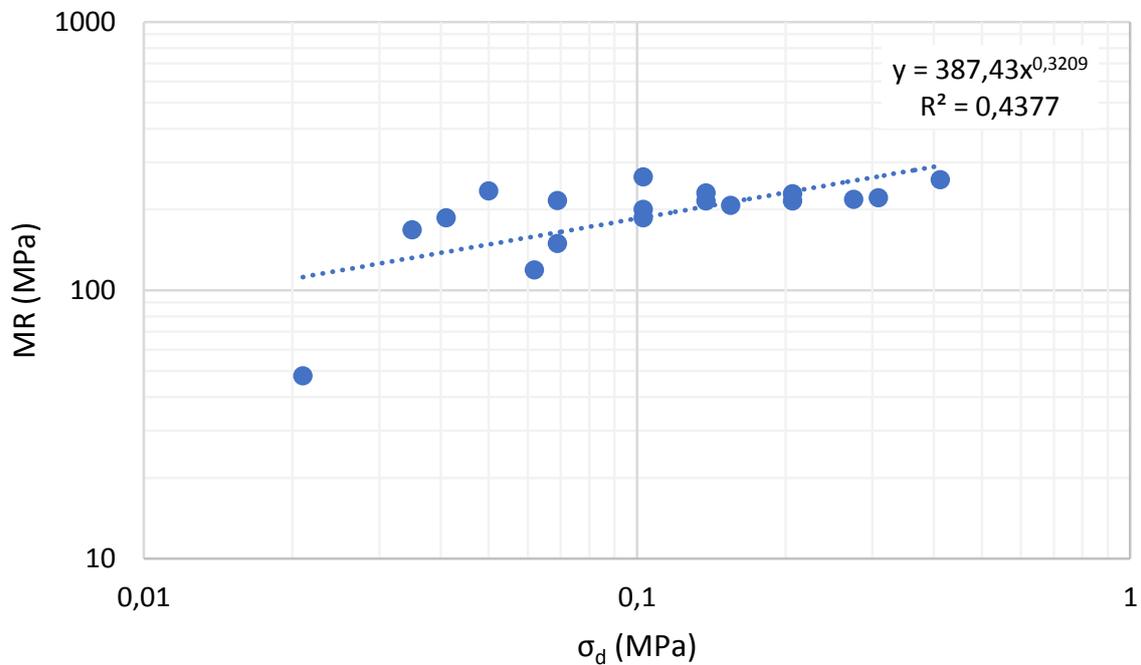


Figura 18. Curva Tensão Desviadora versus Módulo de Resiliência (Solo S1)

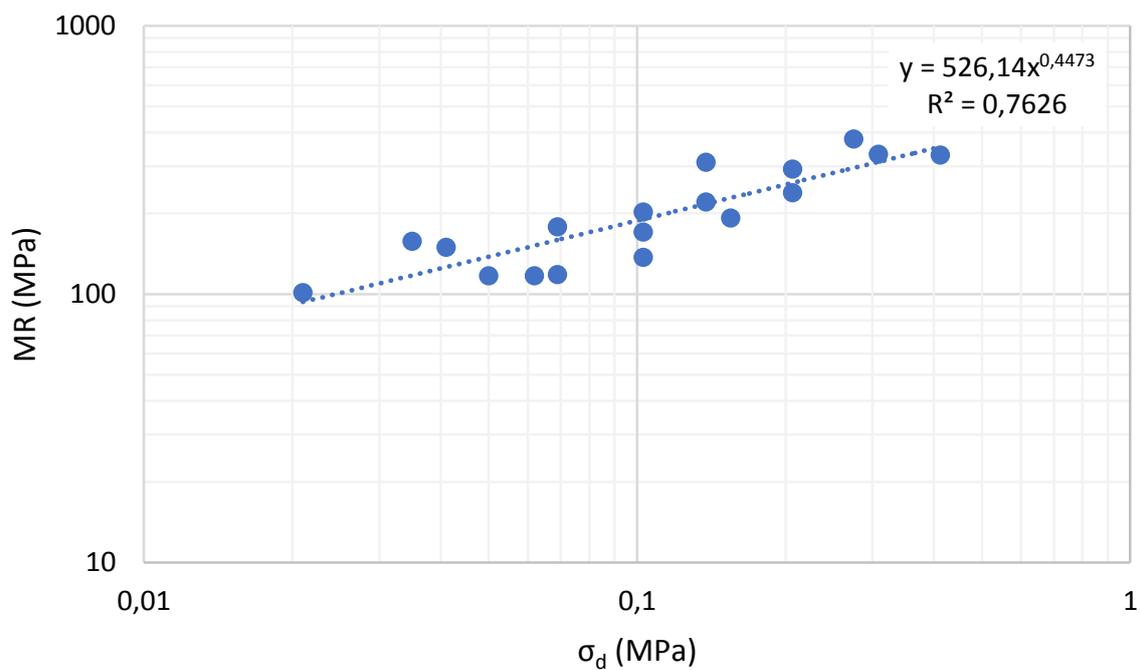


Figura 19. Curva Tensão Desviadora versus Módulo de Resiliência (Mistura M9010)

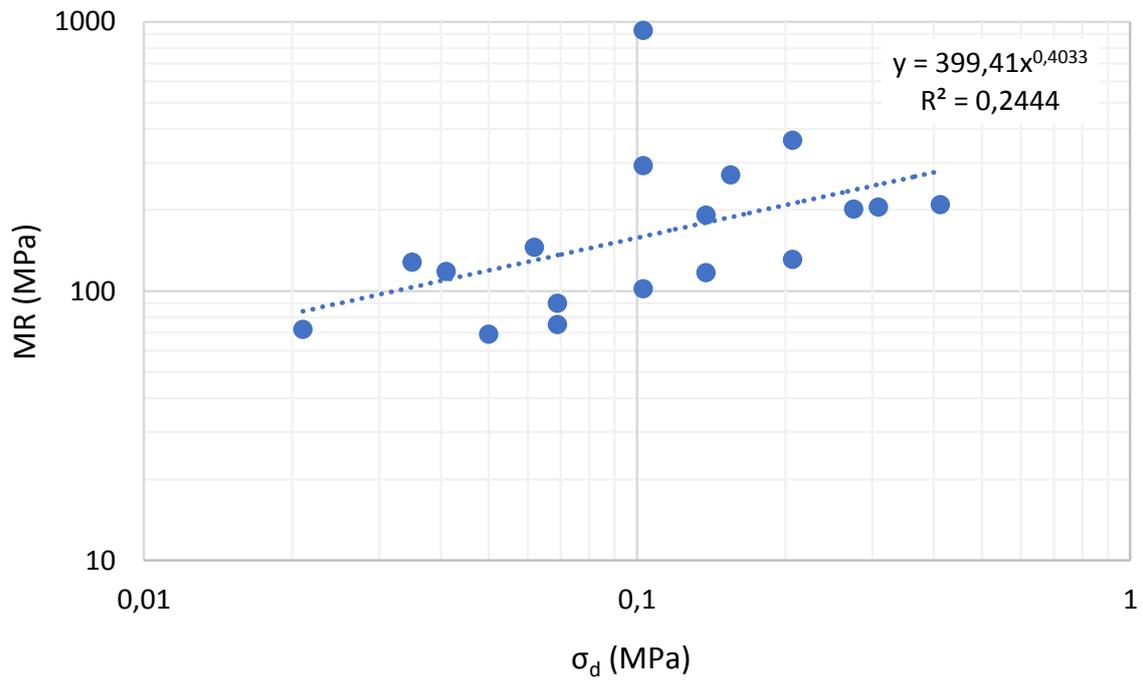


Figura 20. Curva Tensão Desviadora *versus* Módulo de Resiliência (Mistura 8020)

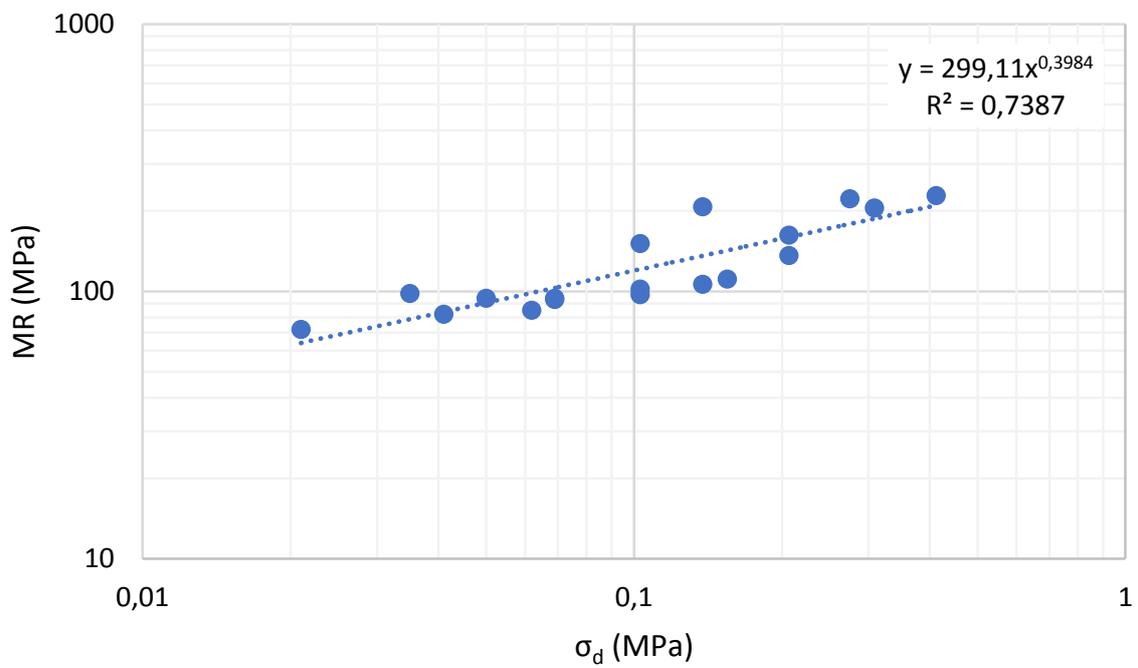


Figura 21. Curva Tensão Desviadora *versus* Módulo de Resiliência (Mistura 7030)

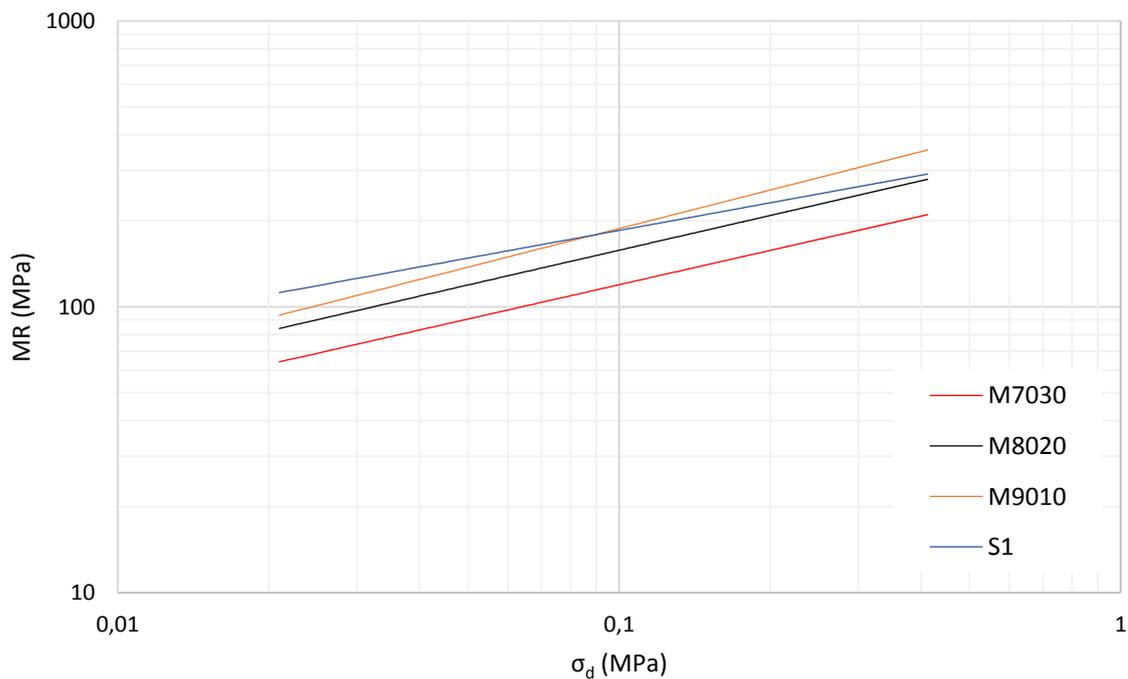


Figura 22. Curvas Tensão Desviadora *versus* Módulo de Resiliência (comparação entre todas as amostras)

#### 4.9 Ensaios de compactação Mini-MCV e de perda de massa por imersão

Para permitir a classificação segundo a tecnologia MCT, foram realizados os ensaios de Compactação Mini-MCV e de Perda de Massa por imersão ( $P_i$ ), de acordo com as normas DNER-ME 258/1994 (BRASIL, 1994a) e DNER-ME 256/94 (BRASIL, 1994b).

Todos os ensaios foram executados no Laboratório de Pavimentação do Centro Tecnológico de Geotecnia Aplicada - CTGA/UFOP. Ressalta-se que os ensaios foram realizados para a laterita (S1) e para as misturas M9010 e M8020.

A Tabela 17 mostra a classificação dos materiais. A Figura 19 mostra o ábaco de classificação para todas as amostras.

Tabela 17. Classificação MCT do solo e das misturas

Descrição	Identificação	Classificação MCT
Laterita	S1	LA'
90% de S1 + 10% de R1	M9010	LA'
80% de S1 + 20% de R1	M8020	LA'

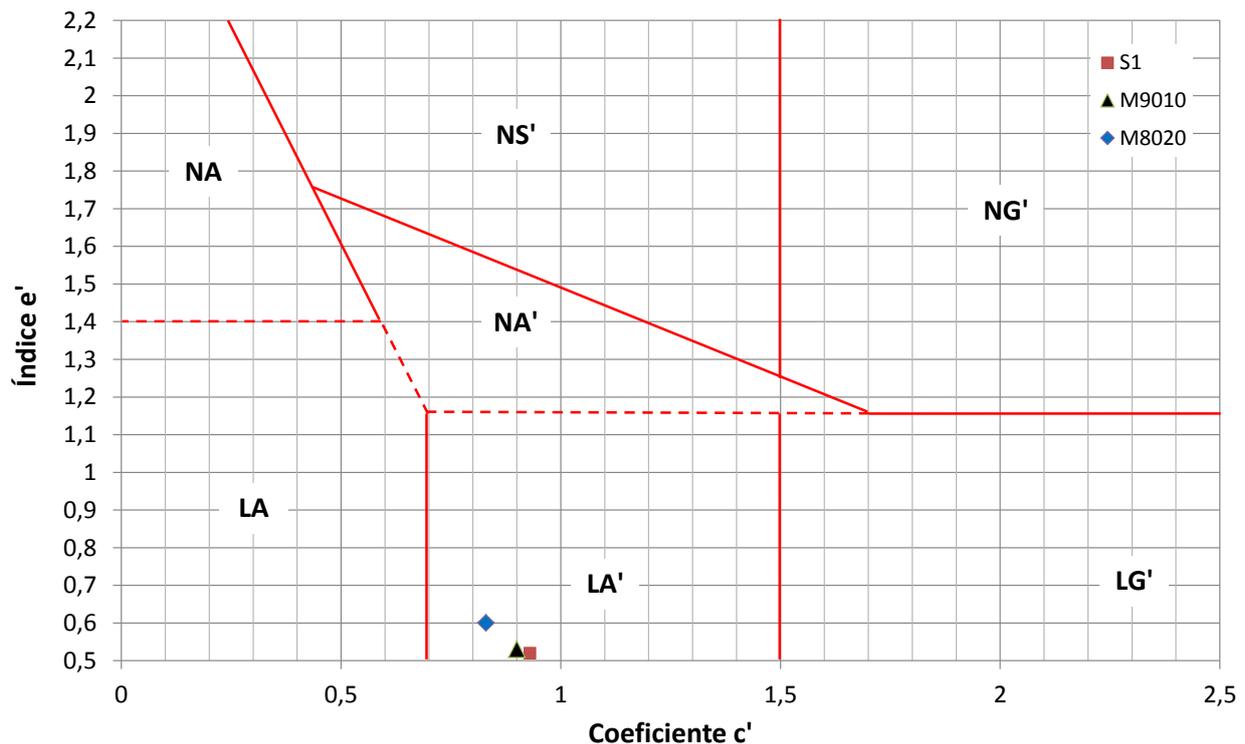


Figura 23. Ábaco de classificação MCT das amostras estudadas

Todas as amostras (S1, M9010 e M8020) apresentaram comportamento laterítico arenosos. Pela influência predominante do solo (laterita), tiveram classificação LA'. À medida que se adicionou o rejeito arenoso, os pontos foram deslocados no ábaco, como se esperava, visto que o rejeito ampliou a fração granulométrica.

Solos classificados nesta região do gráfico são pouco erodíveis e apresentam alta capacidade de suporte, elevado módulo de resiliência e baixa expansibilidade, permitindo seu uso em bases de pavimentos.

## 5. PRINCIPAIS CONCLUSÕES DA ETAPA DE PRÉ-EXECUÇÃO

A adição do rejeito de minério de ferro ao solo natural foi verificada como válida do ponto de vista técnico e ambiental, considerando que o rejeito poderá ser aplicado como material de construção, reduzindo os volumes para a disposição convencional.

Em termos de granulometria, as misturas possuem composição satisfazendo, pelo menos, as faixas E e F uma das faixas Para  $N < 5 \times 10^6$ , onde N é o número de tráfego calculado segundo a metodologia do USACE.

Os resultados dos ensaios de CBR apontaram para o significativo incremento de resistência quando são adicionados 20 e 30% de rejeitos ao solo. A partir dos resultados de resistência mecânica e de expansão destas misturas, os resultados são considerados satisfatórios quando se mistura os rejeitos de mineração aos solos lateríticos. Tais resultados ficaram evidentes para as misturas M8020 e M7030, que apresentaram ISC superior à 60%.

Os ensaios triaxiais dinâmicos realizados, considerando as mesmas massas específicas dos ensaios de compactação, produziram uma tendência de queda do MR, à medida que é elevado o percentual de rejeito na mistura. No entanto, mesmo para a condição de maior percentual de rejeitos incorporados (M7030), a mistura ainda apresenta consideráveis valores de MR.

Os resultados obtidos apontam, portanto, para a continuidade dos estudos envolvendo misturas de rejeitos com solos naturais, especialmente para a segunda etapa deste projeto (etapa de execução), onde se pretende realizar um trecho experimental instrumentado.

## REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459: Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 2017a.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7180: Solo – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2017b.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9895: Solo – Índice Suporte Califórnia – ISC. Rio de Janeiro, 2017c.

BRASIL. Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Método de ensaio DNER-ME 256/1994 - Solos compactados com equipamento miniatura - determinação da perda de massa por imersão. Brasília: DNER, 1994b. 6 p.

BRASIL. Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Norma DNIT-ES 141/2010 - Pavimentação - Base estabilizada granulometricamente. Brasília: DNER, 2010. 9 p.

BRASIL. Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Método de ensaio DNER-ME 030/1994 - Solos determinação das relações sílica-alumina e sílica-sesquióxidos em solos. Brasília: DNER, 1994c. 6 p.

BRASIL. Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Norma DNIT-ES 098/2007 - Pavimentação - Base estabilizada granulometricamente com utilização de solo laterítico. Brasília: DNIT, 2007. 7p.

BRASIL. Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Método de ensaio DNER-ME 258/1994 - Solos compactados em equipamento miniatura - Mini-MCV. Brasília: DNER, 1994a. 14 p.

BARROS, J. M. C. Módulo de cisalhamento máximo de solos tropicais brasileiros. In: CONGRESSO NACIONAL DE GEOTECNIA, 6., 1997, Lisboa. Anais...Lisboa: 1997. p. 117-126.

BERNUCCI, L. L. B. Considerações sobre o dimensionamento de pavimentos utilizando solos lateríticos para rodovias de baixo volume de tráfego. 1995. 237 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

CAMPANHA, A. Caracterização de rejeitos de minério de ferro para uso em pavimentação. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Viçosa, MG, 2011.

DANTAS, A. A. N. Caracterização de resíduos oriundos do beneficiamento do minério de ferro para uso em pavimentação. 2015. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2015.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Projeto de Instrumentação para Medição de Deformação do Pavimento. Brasília, DF. 2008.

FERNANDES, G.; RIBEIRO, L. F. M.; GOMES, R. C.; PALMEIRA, E. M. e PEREIRA, R. A. Estudo de Resíduos de Minério de Ferro para Utilização em Pavimentos. ICTR 2004 - Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável. Florianópolis - SC, ICTR 2004.

IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração. Gestão e Manejo de Rejeitos da Mineração. Organizador: Instituto Brasileiro de Mineração. 1. Ed. Brasília: IBRAM, 2016.

MARANGON, M. Proposição de Estruturas Típicas de Pavimentos de Região de Minas Gerais Utilizando Solos Locais a partir da Pedologia, Metodologia MCT e Resiliência. 477 f. (Tese de Doutorado). COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro/RJ, 2004.

NETO, R. S. B. Análise comparativa de pavimentos dimensionados através dos métodos empírico do DNER e mecanístico e proposta de um catálogo simplificado de pavimentos para a região de Campo Grande (MS). São Carlos, 2004.

NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos. São Paulo: Villibor, 1995. v. 1 e v. 2.

NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F.; Pavimentos Econômicos: tecnologia do uso de solos finos lateríticos. São Paulo: Arte & Ciência, 2009. v. 1 e v. 2.

RODRIGUES, K. H. P. Estudo de estabilização granulométrica de solos utilizando rejeito de mineração. 2018. 108 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Núcleo de Geotecnia, Universidade Federal de Ouro Preto, 2018.

SARAIVA, S. L., GOMES, R. C., FERNANDES, G. Estudo alternativo de superestrutura rodoviária com resíduos de mineração de ferro associados à geossintéticos em trecho experimental na rodovia Itabira-Itambé de Minas. 10º ENACOR – Joinville - SC. 2005.

SARAIVA, S. L., GOMES, R. C., FERNANDES, G. Construção de trecho experimental instrumentado para análise rodoviária com utilização de solos finos e resíduos da mineração de ferro associado à geossintéticos. 36ª Reunião Anual de Pavimentação – Curitiba. 2005.

SILVEIRA, N. P. O. S. Análise das propriedades físicas e mecânicas de dois resíduos finos de pedreira para utilização em pavimentos rodoviários. 2010. 161 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade de Brasília, 2010.



---

## ANEXOS

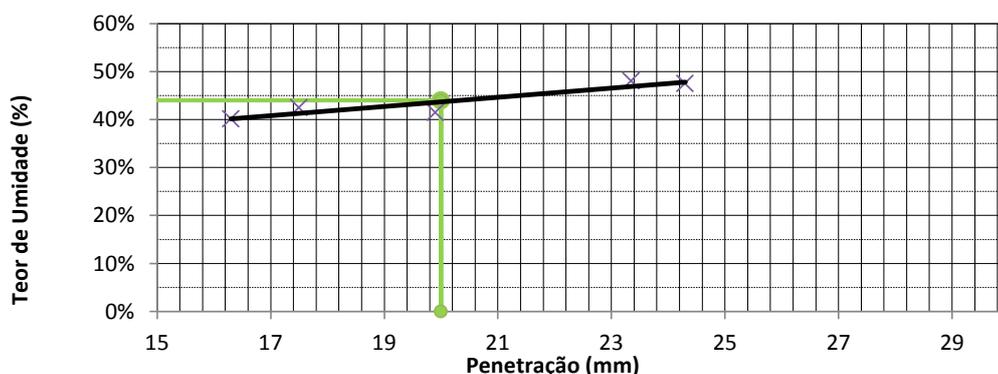


# LIMITES DE ATTERBERG NBR 6457:2016; BS 1377

<b>OPERADOR:</b>	IARA	<b>N:</b>	<b>NOME DA AMOSTRA:</b>  SOLO S1
<b>RESPONSÁVEL PELO CÁLCULO:</b>	IARA	<b>E:</b>	
<b>VERIFICADOR:</b>	Eleonardo	<b>COTA:</b>	<b>ORIGEM:</b>
<b>DATA:</b> 30/03/2018		<b>LOCAL:</b>	<b>PROTOCOLO:</b>

## LIMITE DE LIQUIDEZ (Método do Cone - Britânico)

Determinação N°		1	2	3	4	5	6
Cápsula N°		7	31	38	33	8	
M <sub>cap+solo+água</sub>	(g)	41,21	40,12	37,84	38,27	37,28	
M <sub>cap+solo</sub>	(g)	35,76	36,06	33,70	33,41	30,36	
M <sub>cap</sub>	(g)	22,18	26,27	23,96	23,18	15,96	
M <sub>solo</sub>	(g)	13,58	9,79	9,74	10,23	14,40	
Mágua	(g)	5,45	4,06	4,14	4,86	6,92	
w	(%)	40,1%	41,5%	42,5%	47,5%	48,1%	
Número de Golpes	n	16,30	19,90	17,50	24,30	23,35	
Utilizar valor	(sim/não)	sim	sim	sim	sim	sim	



Equação da Retra:  $w = a \cdot \ln(N) + b$

a =	0,0095
b =	0,2459
R <sup>2</sup> =	0,8586
<b>LL</b>	<b>44%</b>
<b>LP</b>	<b>27%</b>
<b>IP</b>	<b>17%</b>

## LIMITE DE PLASTICIDADE

Determinação N°		1	2	3	4	5	6
Cápsula N°		19	7	57	88	3	
M <sub>cap+solo+água</sub>	(g)	5,75	6,05	6,12	6,52	6,44	
M <sub>cap+solo</sub>	(g)	5,44	5,64	5,71	6,12	6,01	
M <sub>cap</sub>	(g)	4,30	4,14	4,19	4,54	4,43	
M <sub>solo</sub>	(g)	1,14	1,50	1,52	1,58	1,58	
Mágua	(g)	0,31	0,41	0,41	0,40	0,43	
LP	(%)	27,2%	27,3%	27,0%	25,3%	27,2%	
Utilizar valor na média	(sim/não)	sim	sim	sim	não	sim	
desvio da média	(%)	dentro	dentro	dentro	-	dentro	-
LP (para compor a média)	(%)	27,2%	27,3%	27,0%	ñ utilizado	27,2%	
<b>LP</b>	(%)	<b>27%</b>					

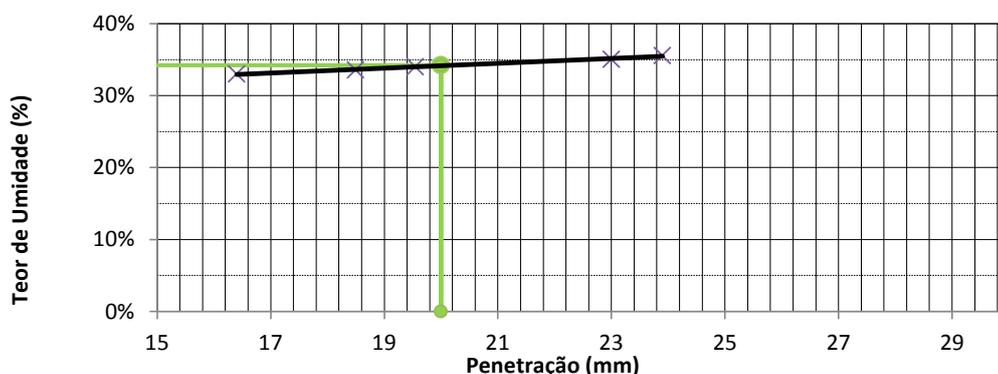


# LIMITES DE ATTERBERG NBR 6457:2016; BS 1377

<b>OPERADOR:</b>	IARA	<b>N:</b>	<b>NOME DA AMOSTRA:</b>  Rejeito R3
<b>RESPONSÁVEL PELO CÁLCULO:</b>	IARA	<b>E:</b>	
<b>VERIFICADOR:</b>	Eleonardo	<b>COTA:</b>	<b>ORIGEM:</b>
<b>DATA:</b> 30/03/2018		<b>LOCAL:</b>	<b>PROTOCOLO:</b>

## LIMITE DE LIQUIDEZ (Método do Cone - Britânico)

Determinação N°		1	2	3	4	5	6
Cápsula N°		7	31	38	33	8	
M <sub>cap+solo+água</sub>	(g)	21,86	26,67	25,43	20,25	25,47	
M <sub>cap+solo</sub>	(g)	17,36	20,83	19,92	16,30	20,15	
M <sub>cap</sub>	(g)	4,13	4,17	4,42	4,33	4,29	
M <sub>solo</sub>	(g)	13,23	16,66	15,50	11,97	15,86	
Mágua	(g)	4,50	5,84	5,51	3,95	5,32	
w	(%)	34,0%	35,1%	35,5%	33,0%	33,5%	
Número de Golpes	n	19,55	23,00	23,90	16,40	18,50	
Utilizar valor	(sim/não)	sim	sim	sim	sim	sim	



Equação da Retra:  $w = a \cdot \ln(N) + b$

a =	0,0034
b =	0,2743
R <sup>2</sup> =	0,9927

**LL**      **34%**

**LP**      **25%**

**IP**      **9%**

## LIMITE DE PLASTICIDADE

Determinação N°		1	2	3	4	5	6	
Cápsula N°								
M <sub>cap+solo+água</sub>	(g)	6,53	4,94	4,96	5,67	4,95		
M <sub>cap+solo</sub>	(g)	6,15	4,62	4,60	5,21	4,57		
M <sub>cap</sub>	(g)	4,60	3,23	3,13	3,34	3,09		
M <sub>solo</sub>	(g)	1,55	1,39	1,47	1,87	1,48		
Mágua	(g)	0,38	0,32	0,36	0,46	0,38		
LP	(%)	24,5%	23,0%	24,5%	24,6%	25,7%		
Utilizar valor na média	(sim/não)	sim	não	sim	sim	sim		
desvio da média	(%)	dentro	-	dentro	dentro	dentro	-	
LP (para compor a média)	(%)	24,5%	ñ utilizado	24,5%	24,6%	25,7%		
<b>LP</b>	(%)	<b>25%</b>						

## ANÁLISE GRANULOMÉTRICA - NBR 7181/84

AMOSTRA: Solo S1 FOLHA: 1

LOCAL DA AMOSTRAGEM: Ferro +

AMOSTRA TOTAL	DESCRIÇÃO DA AMOSTRA
SOLO ÚMIDO TOTAL (g)	1155,04
SOLO SECO TOTAL (g)	1060,69
SOLO RETIDO #10 SECO (g)	367,58
SOLO PASSADO #10 SECO (g)	693,11
% PASSA #10	

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCÓPICA				PENEIRAMENTO GROSSO				
CAPSULA Nº	59	84	6	PENEIRA		SOLO	SOLO acum	(%) acum
SOLO ÚMIDO +TARA (g)	36,52	31,67	36,72	Nº	(mm)	RETIDO(g)	PASSA (g)	PASSA
SOLO SECO+TARA (g)	34,88	30,44	34,77	2"	50	0,00	1060,69	100,0
ÁGUA (g)	1,64	1,23	1,95	1 1/2"	38	0,00	1060,69	100,0
TARA (g)	16,32	16,36	13,37	1"	25	0,00	1060,69	100,0
SOLO SECO (g)	18,56	14,08	21,40	3/4"	19	13,07	1047,62	98,8
UMIDADE (%)	8,84	8,74	9,11	3/8"	9,5	92,68	954,94	90,0
UMIDADE MÉDIA (%)	8,89			nº 4	4,8	117,94	837,00	78,9
fator correção	0,918			nº10	2,0	143,89	693,11	65,3

PENEIRAMENTO FINO						
PENEIRA	AMOSTRA PARCIAL			(%) QUE PASSA acum (AMOSTRA TOTAL)	AMOSTRA PARCIAL	
Nº	SOLO RETIDO(g)	SOLO acum PASSA(g)	(%) acum PASSA			
16	5,33	58,95	91,71	59,93	SOLO ÚMIDO (g)	70,00
30	5,38	53,57	83,34	54,46		
40	1,44	52,13	81,10	52,99		
60	4,10	48,03	74,72	48,83	SOLO SECO(g)	64,28
100	1,24	46,79	72,79	47,57		
200	0,82	45,97	71,52	46,73		

SEDIMENTAÇÃO			
SEDIMENTO ÚMIDO (g)	72,45	DENSÍMETRO	88662
SEDIMENTO SECO (g)	65,54	PROVETA	16
SOLO TOTAL PASSADO NA #200 (g)		DEFLOCULANTE	hexa
AMOSTRA REPRESENTADA		DENSIDADE DOS GRÃOS	3,018

TEMPO (s)	LEITURA L	TEMPERAT. (°C)	LEITURA CORRIGIDA Li=L+Cm	DIÂMETRO DOS GRÃOS D (mm)	LEITURA CORRIGIDA L=L-Ld	(%) QUE PASSA
15	34,0	21,7	34,5000	0,09651	30,9815	47,10
30	33,0	21,7	33,5000	0,06825	29,9815	45,58
60	32,0	21,7	32,5000	0,04826	28,9815	44,06
120	30,0	21,7	30,5000	0,03412	26,9815	41,02
240	30,0	21,6	30,5000	0,02416	26,9558	40,98
480	28,0	21,4	28,5000	0,01712	24,9046	37,86
900	27,5	21,2	28,0000	0,01253	24,3537	37,02
1800	27,0	21,0	27,5000	0,00888	23,8030	36,19
3600	26,5	20,8	27,0000	0,00629	23,2525	35,35
7200	25,5	20,6	26,0000	0,00446	22,2023	33,75
14400	25,0	20,4	25,5000	0,00316	21,6523	32,92
28800	24,0	20,9	24,5000	0,00222	20,7777	31,59
86400	23,0	20,8	23,5000	0,00128	19,7525	30,03

Iara/Letícia  
OPERADOR

Iara/Letícia  
CÁLCULO

Eleonardo  
VISTO

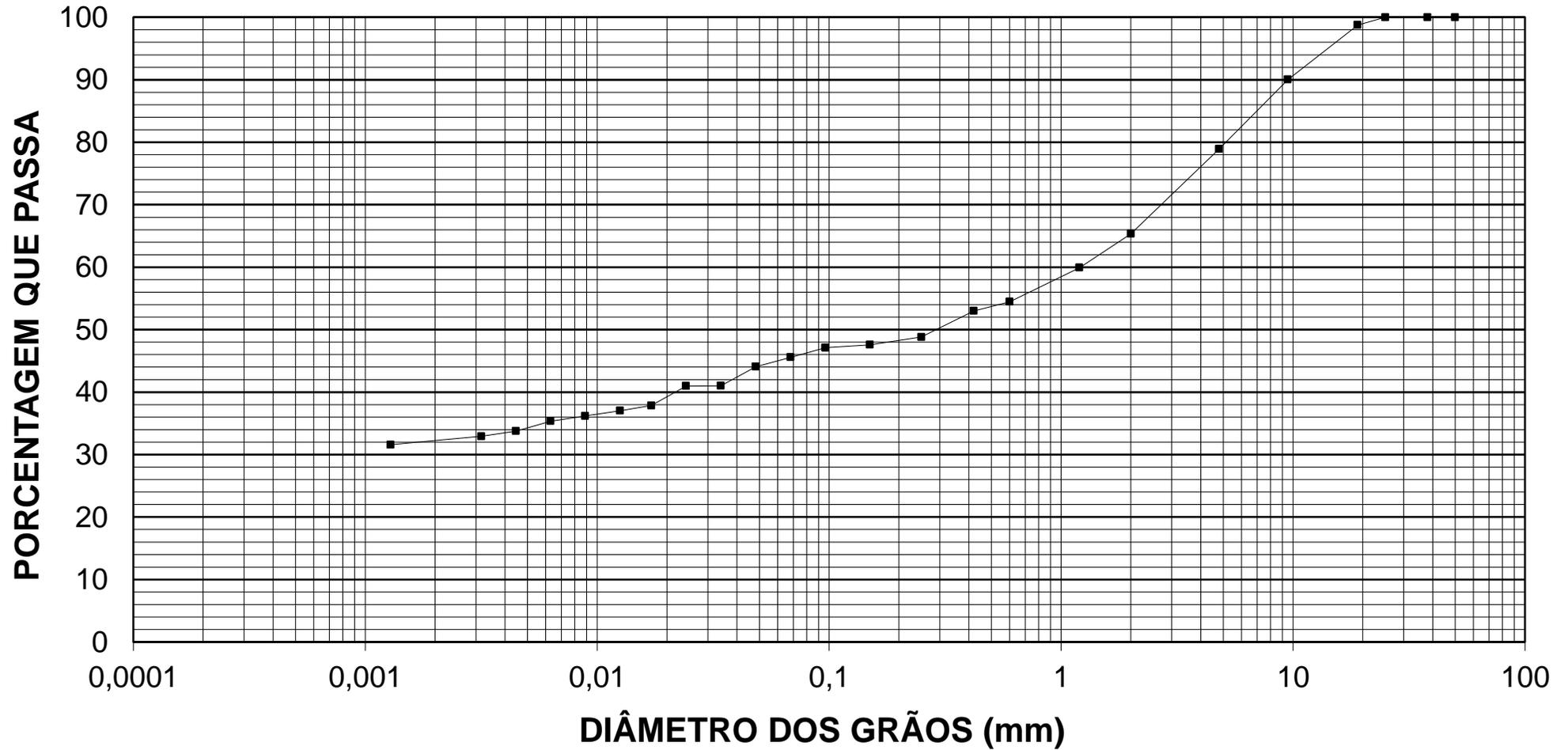
### CURVA DE DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA

PROJETO : REDE

FOLHA: 1

LOCAL DA AMOSTRAGEM : Ferro +

AMOSTRA: S1



lara/Leticia  
OPERADOR

lara/Leticia  
CÁLCULO

Eleonardo  
VISTO

## ANÁLISE GRANULOMÉTRICA - NBR 7181/84

AMOSTRA: Rejeito R1 FOLHA: 1

LOCAL DA AMOSTRAGEM: New Steel

AMOSTRA TOTAL		DESCRIÇÃO DA AMOSTRA	
SOLO ÚMIDO TOTAL (g)	1000,07		
SOLO SECO TOTAL (g)	999,26		
SOLO RETIDO #10 SECO (g)	255,08		
SOLO PASSADO #10 SECO (g)	744,18		
% PASSA #10			

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCÓPICA				PENEIRAMENTO GROSSO				
CAPSULA Nº	CME 005	CME 021	CME 292	PENEIRA		SOLO RETIDO(g)	SOLO acum PASSA (g)	(%) acum PASSA
				Nº	(mm)			
SOLO ÚMIDO +TARA (g)	46,00	38,32	50,18					
SOLO SECO+TARA (g)	45,97	38,32	50,15	2"	50	0,00	999,26	100,0
ÁGUA (g)	0,03	0,00	0,03	1 1/2"	38	0,00	999,26	100,0
TARA (g)	23,97	15,59	22,15	1"	25	0,00	999,26	100,0
SOLO SECO (g)	22,00	22,73	28,00	3/4"	19	0,00	999,26	100,0
UMIDADE (%)	0,14	0,00	0,11	3/8"	9,5	0,00	999,26	100,0
UMIDADE MÉDIA (%)	0,08			nº 4	4,8	91,59	907,67	90,8
fator correção	0,999			nº10	2,0	163,49	744,18	74,5

PENEIRAMENTO FINO						
PENEIRA Nº	AMOSTRA PARCIAL			(%) QUE PASSA acum (AMOSTRA TOTAL)	AMOSTRA PARCIAL	
	SOLO RETIDO(g)	SOLO acum PASSA(g)	(%) acum PASSA			
16	9,21	106,66	92,05	68,55	SOLO ÚMIDO (g) <span style="float: right;">115,96</span>	
30	15,75	90,91	78,46	58,43		
40	11,85	79,06	68,23	50,81		
60	26,23	52,83	45,59	33,95	SOLO SECO(g) <span style="float: right;">115,87</span>	
100	32,59	20,24	17,46	13,01		
200	19,93	0,31	0,26	0,20		

SEDIMENTAÇÃO			
SEDIMENTO ÚMIDO (g)		DENSÍMETRO	88662
SEDIMENTO SECO (g)		PROVETA	7
SOLO TOTAL PASSADO NA #200 (g)		DEFLOCULANTE	Hexametafosfato de Sódio
AMOSTRA REPRESENTADA		DENSIDADE DOS GRÃOS	2,664

TEMPO (s)	LEITURA L	TEMPERAT. (°C)	LEITURA CORRIGIDA Li=L+Cm	DIÂMETRO DOS GRÃOS D (mm)	LEITURA CORRIGIDA L=L-Ld	(%) QUE PASSA
15	4,0	25,2	4,5000	0,10232	1,9163	1,97
30	3,0	25,2	3,5000	0,07235	0,9163	0,94
60	3,0	25,2	3,5000	0,05116	0,9163	0,94
120	3,0	25,2	3,5000	0,03618	0,9163	0,94
240	3,0	25,2	3,5000	0,02558	0,9163	0,94
480	3,0	25,2	3,5000	0,01809	0,9163	0,94
900	3,0	25,2	3,5000	0,01321	0,9163	0,94
1800	3,0	25,0	3,5000	0,00936	0,8610	0,89
3600	3,0	24,6	3,5000	0,00665	0,7510	0,77
7200	3,0	24,2	3,5000	0,00472	0,6420	0,66
14400	3,0	24,0	3,5000	0,00334	0,5878	0,60
28800	3,0	23,6	3,5000	0,00238	0,4801	0,49
86400	3,0	23,0	3,5000	0,00138	0,3204	0,33

l ara/Letícia  
OPERADOR

l ara/Letícia  
CÁLCULO

Eleonardo  
VISTO

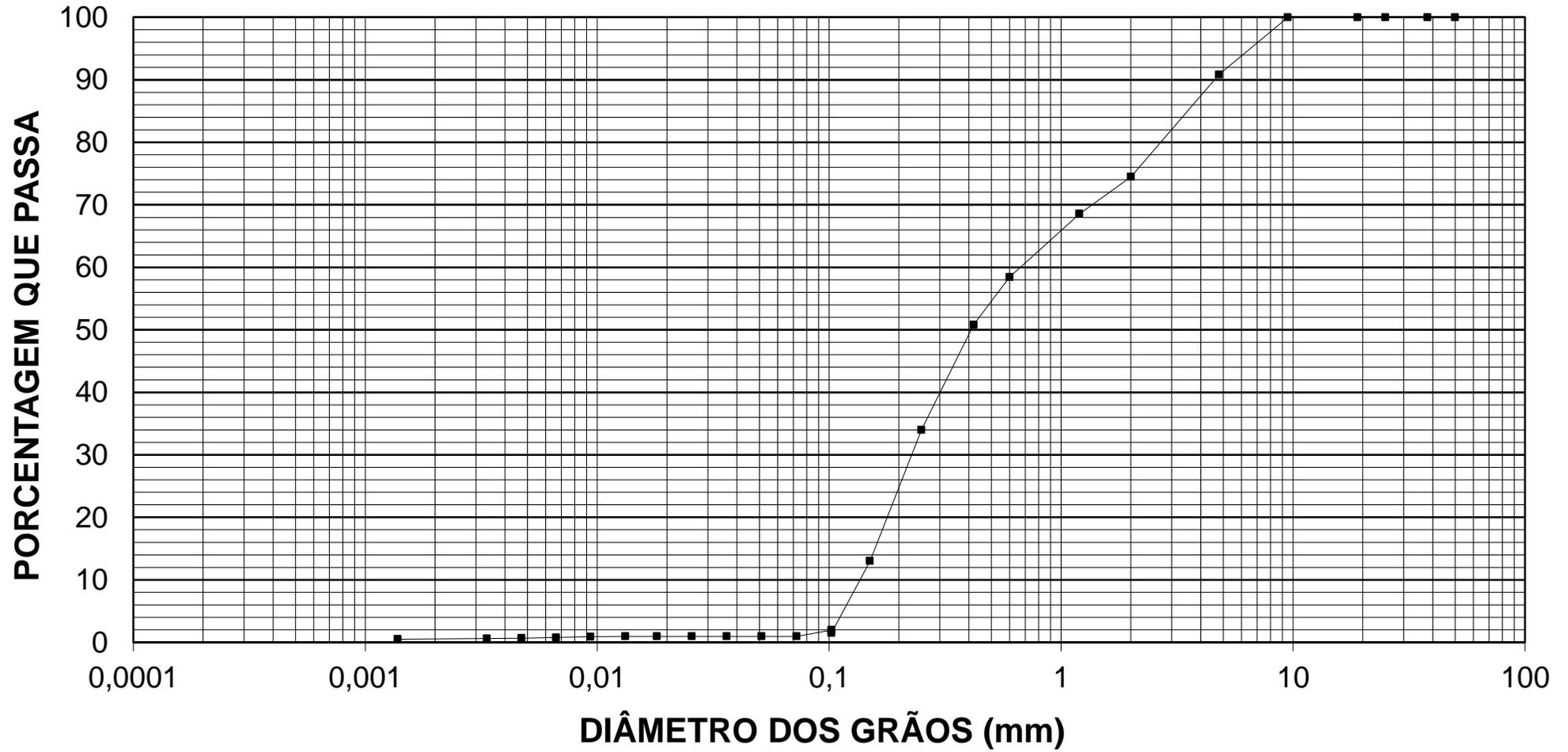
### CURVA DE DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA

PROJETO : REDE

FOLHA: 1

LOCAL DA AMOSTRAGEM : New Steel

AMOSTRA: R1



lara/Leticia  
OPERADOR

lara/Leticia  
CÁLCULO

Eleonardo  
VISTO

## ANÁLISE GRANULOMÉTRICA - NBR 7181/84

AMOSTRA: Rejeito R2 FOLHA: 1

LOCAL DA AMOSTRAGEM: New Steel

AMOSTRA TOTAL		DESCRIÇÃO DA AMOSTRA	
SOLO ÚMIDO TOTAL (g)	1000,00		
SOLO SECO TOTAL (g)	999,05		
SOLO RETIDO #10 SECO (g)	0,18		
SOLO PASSADO #10 SECO (g)	998,87		
% PASSA #10			

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCÓPICA				PENEIRAMENTO GROSSO				
CAPSULA Nº	CME 262	CME 038	CME 229	PENEIRA		SOLO RETIDO(g)	SOLO acum PASSA (g)	(%) acum PASSA
				Nº	(mm)			
SOLO ÚMIDO +TARA (g)	71,00	59,51	63,80	2"	50	0,00	999,05	100,0
SOLO SECO+TARA (g)	70,93	59,49	63,76	1 1/2"	38	0,00	999,05	100,0
ÁGUA (g)	0,07	0,02	0,04	1"	25	0,00	999,05	100,0
TARA (g)	22,83	15,97	21,77	3/4"	19	0,00	999,05	100,0
SOLO SECO (g)	48,10	43,52	41,99	3/8"	9,5	0,00	999,05	100,0
UMIDADE (%)	0,15	0,05	0,10	nº 4	4,8	0,00	999,05	100,0
UMIDADE MÉDIA (%)	0,10			nº10	2,0	0,18	998,87	100,0
fator correção	0,999							

PENEIRAMENTO FINO						
PENEIRA Nº	AMOSTRA PARCIAL			(%) QUE PASSA acum (AMOSTRA TOTAL)	AMOSTRA PARCIAL	
	SOLO RETIDO(g)	SOLO acum PASSA(g)	(%) acum PASSA			
16	0,00	61,33	100,00	99,98	SOLO ÚMIDO (g) 61,39	
30	0,17	61,16	99,72	99,70		
40	0,32	60,84	99,20	99,18		
60	3,05	57,79	94,23	94,21	SOLO SECO(g) 61,33	
100	11,72	46,07	75,12	75,11		
200	43,36	2,71	4,42	4,42		

SEDIMENTAÇÃO			
SEDIMENTO ÚMIDO (g)	120,03	DENSÍMETRO	88662
SEDIMENTO SECO (g)		PROVETA	9
SOLO TOTAL PASSADO NA #200 (g)		DEFLOCULANTE	Hexametafosfato de Sódio
AMOSTRA REPRESENTADA		DENSIDADE DOS GRÃOS	2,688

TEMPO (s)	LEITURA L	TEMPERAT. (°C)	LEITURA CORRIGIDA Li=L+Cm	DIÂMETRO DOS GRÃOS D (mm)	LEITURA CORRIGIDA L=L-Ld	(%) QUE PASSA
15	20,0	28,4	20,5000	0,09830	18,8333	48,89
30	16,0	28,4	16,5000	0,06951	14,8333	38,51
60	12,0	28,4	12,5000	0,04915	10,8333	28,12
120	8,0	28,4	8,5000	0,03476	6,8333	17,74
240	5,0	28,0	5,5000	0,02468	3,7154	9,64
480	4,0	27,6	4,5000	0,01752	2,5985	6,75
900	4,0	27,4	4,5000	0,01282	2,5403	6,59
1800	4,0	26,8	4,5000	0,00912	2,3674	6,15
3600	4,0	26,6	4,5000	0,00646	2,3102	6,00
7200	4,0	25,8	4,5000	0,00461	2,0837	5,41
14400	4,0	24,8	4,5000	0,00329	1,8059	4,69
28800	4,0	23,8	4,5000	0,00235	1,5339	3,98
86400	4,0	23,8	4,5000	0,00136	1,5339	3,98

l ara/Letícia  
OPERADOR

l ara/Letícia  
CÁLCULO

Eleonardo  
VISTO

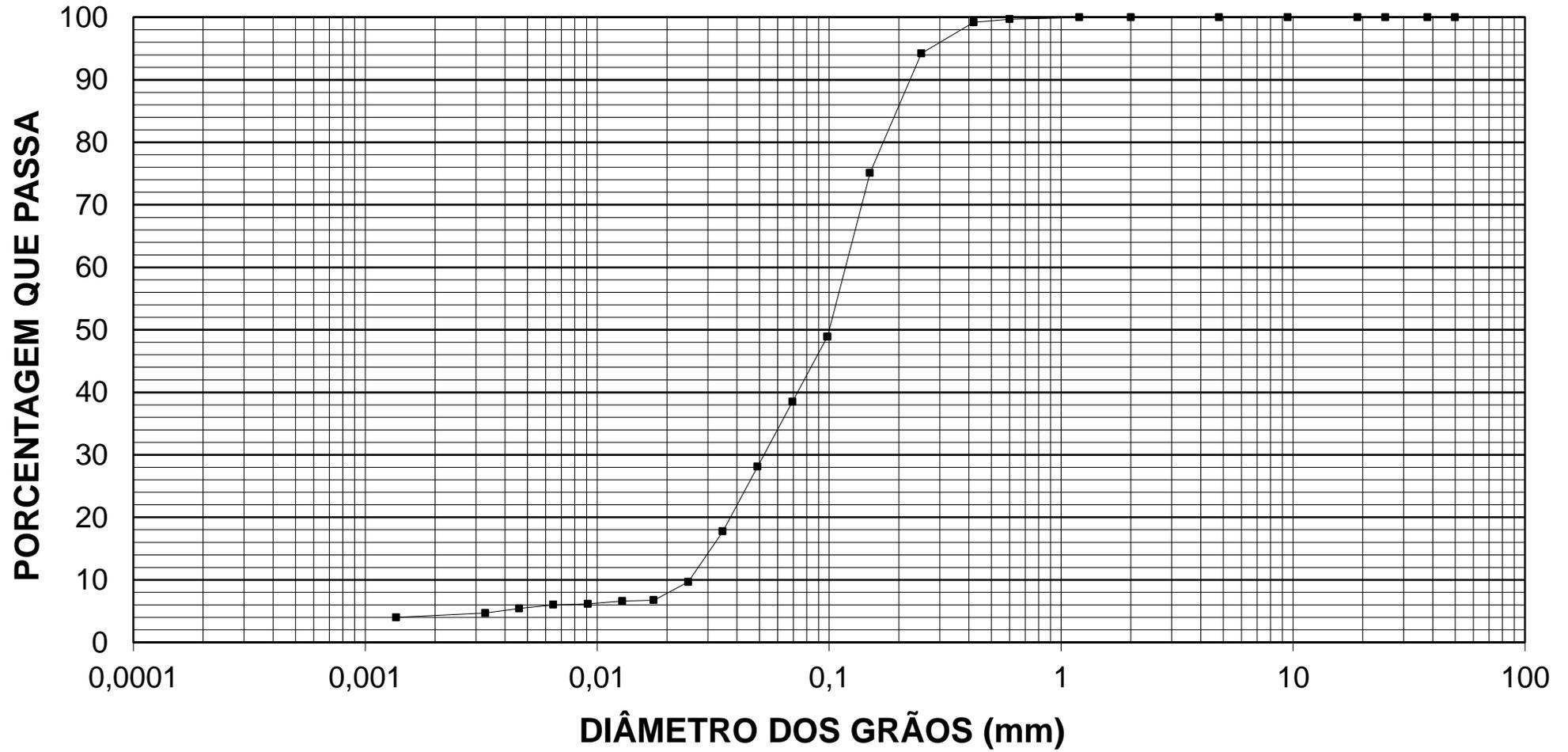
### CURVA DE DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA

PROJETO : REDE

FOLHA: 1

LOCAL DA AMOSTRAGEM : New Steel

AMOSTRA: R2



lara/Leticia  
OPERADOR

lara/Leticia  
CÁLCULO

Eleonardo  
VISTO

## ANÁLISE GRANULOMÉTRICA - NBR 7181/84

AMOSTRA: Rejeito R3 FOLHA: 1

LOCAL DA AMOSTRAGEM: New Steel

AMOSTRA TOTAL		DESCRIÇÃO DA AMOSTRA	
SOLO ÚMIDO TOTAL (g)	1000,01		
SOLO SECO TOTAL (g)	995,30		
SOLO RETIDO #10 SECO (g)	0,00		
SOLO PASSADO #10 SECO (g)	995,30		
% PASSA #10			

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCÓPICA				PENEIRAMENTO GROSSO				
CAPSULA Nº	5	6	M1-2	PENEIRA		SOLO RETIDO(g)	SOLO acum PASSA (g)	(%) acum PASSA
				Nº	(mm)			
SOLO ÚMIDO +TARA (g)	39,84	35,84	39,10	2"	50	0,00	995,30	100,0
SOLO SECO+TARA (g)	39,75	35,74	38,96	1 1/2"	38	0,00	995,30	100,0
ÁGUA (g)	0,09	0,10	0,14	1"	25	0,00	995,30	100,0
TARA (g)	13,75	13,34	16,62	3/4"	19	0,00	995,30	100,0
SOLO SECO (g)	26,00	22,40	22,34	3/8"	9,5	0,00	995,30	100,0
UMIDADE (%)	0,35	0,45	0,63	nº 4	4,8	0,00	995,30	100,0
UMIDADE MÉDIA (%)	0,47			nº10	2,0	0,00	995,30	100,0
fator correção	0,995							

PENEIRAMENTO FINO						
PENEIRA Nº	AMOSTRA PARCIAL			(%) QUE PASSA acum (AMOSTRA TOTAL)	AMOSTRA PARCIAL	
	SOLO RETIDO(g)	SOLO acum PASSA(g)	(%) acum PASSA			
16	0,00	69,71	100,00	100,00	SOLO ÚMIDO (g) 70,04	
30	0,00	69,71	100,00	100,00		
40	0,00	69,71	100,00	100,00		
60	0,00	69,71	100,00	100,00	SOLO SECO(g) 69,71	
100	0,00	69,71	100,00	100,00		
200	0,00	69,71	100,00	100,00		

SEDIMENTAÇÃO			
SEDIMENTO ÚMIDO (g)	70,04	DENSÍMETRO	88662
SEDIMENTO SECO (g)		PROVETA	3
SOLO TOTAL PASSADO NA #200 (g)		DEFLOCULANTE	Hexametafosfato de Sódio
AMOSTRA REPRESENTADA		DENSIDADE DOS GRÃOS	3,778

TEMPO (s)	LEITURA L	TEMPERAT. (°C)	LEITURA CORRIGIDA Li=L+Cm	DIÂMETRO DOS GRÃOS D (mm)	LEITURA CORRIGIDA L=L-Ld	(%) QUE PASSA
15	49,0	27,0	49,5000	0,07770	47,4248	92,52
30	48,0	27,0	48,5000	0,05495	46,4248	90,57
60	47,0	27,0	47,5000	0,03885	45,4248	88,62
120	46,0	27,0	46,5000	0,02747	44,4248	86,67
240	42,0	26,8	42,5000	0,01947	40,3674	78,75
480	37,0	26,6	37,5000	0,01379	35,3102	68,89
900	32,0	26,6	32,5000	0,01007	30,3102	59,13
1800	27,0	26,2	27,5000	0,00715	25,1965	49,16
3600	22,0	25,8	22,5000	0,00508	20,0837	39,18
7200	17,0	24,8	17,5000	0,00363	14,8059	28,88
14400	13,0	24,4	13,5000	0,00258	10,6964	20,87
28800	10,0	23,6	10,5000	0,00184	7,4801	14,59
86400	7,0	23,0	7,5000	0,00107	4,3204	8,43

\_\_\_\_\_  
Iara/Letícia  
OPERADOR

\_\_\_\_\_  
Iara/Letícia  
CÁLCULO

\_\_\_\_\_  
Eleonardo  
VISTO

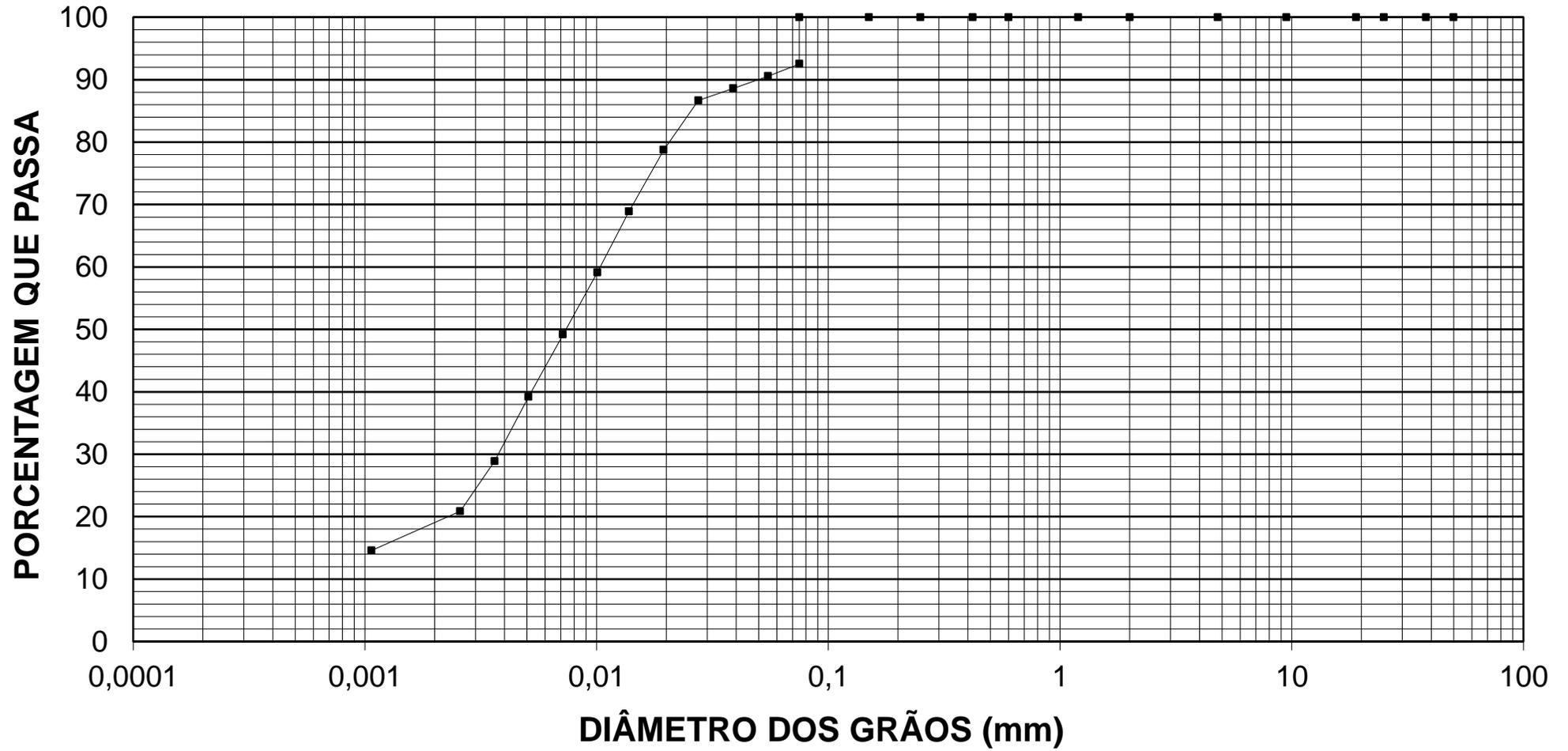
### CURVA DE DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA

PROJETO : REDE

FOLHA: 1

LOCAL DA AMOSTRAGEM : New Steel

AMOSTRA: R3



lara/Leticia  
OPERADOR

lara/Leticia  
CÁLCULO

Eleonardo  
VISTO

## GRANULOMETRIA A LASER

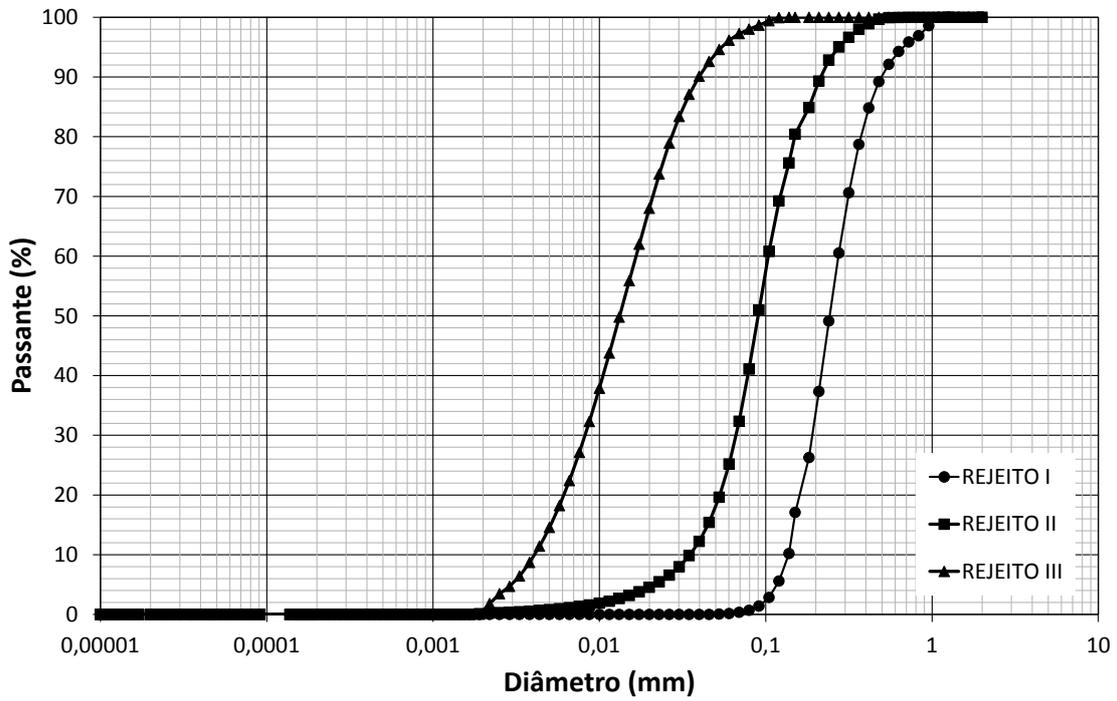


Figura 1. Curva granulométrica dos rejeitos – sem hexametafosfato e sem sonar

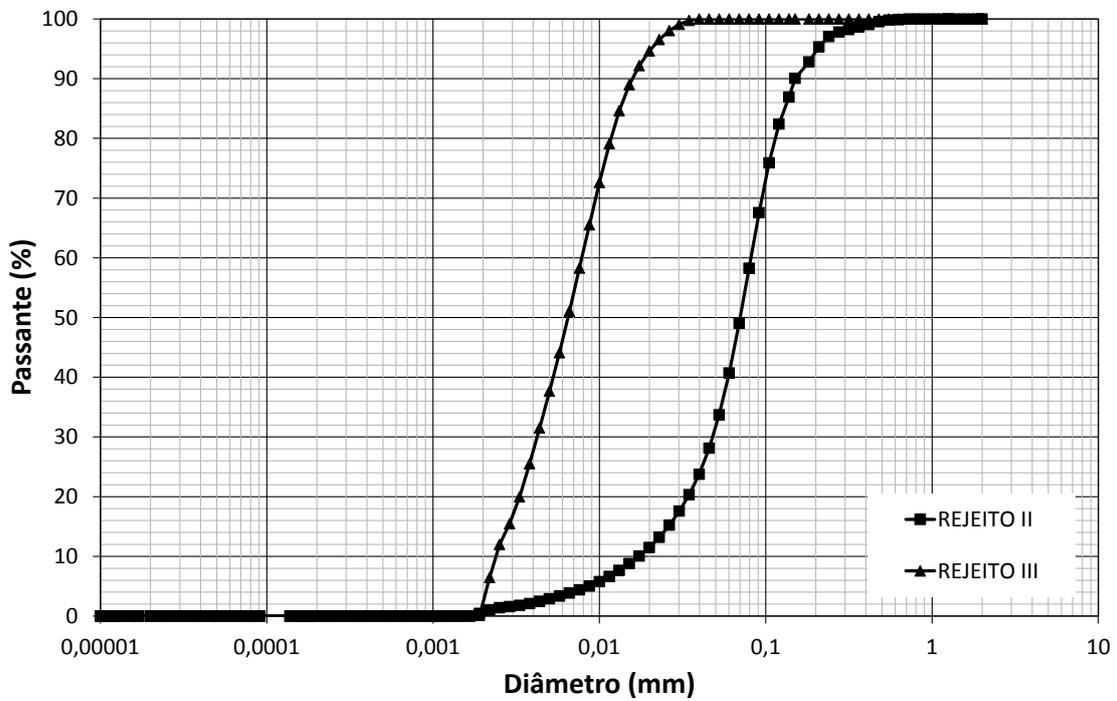


Figura 2. Curva granulométrica dos rejeitos – com hexametafosfato e sem sonar

# GRANULOMETRIA A LASER

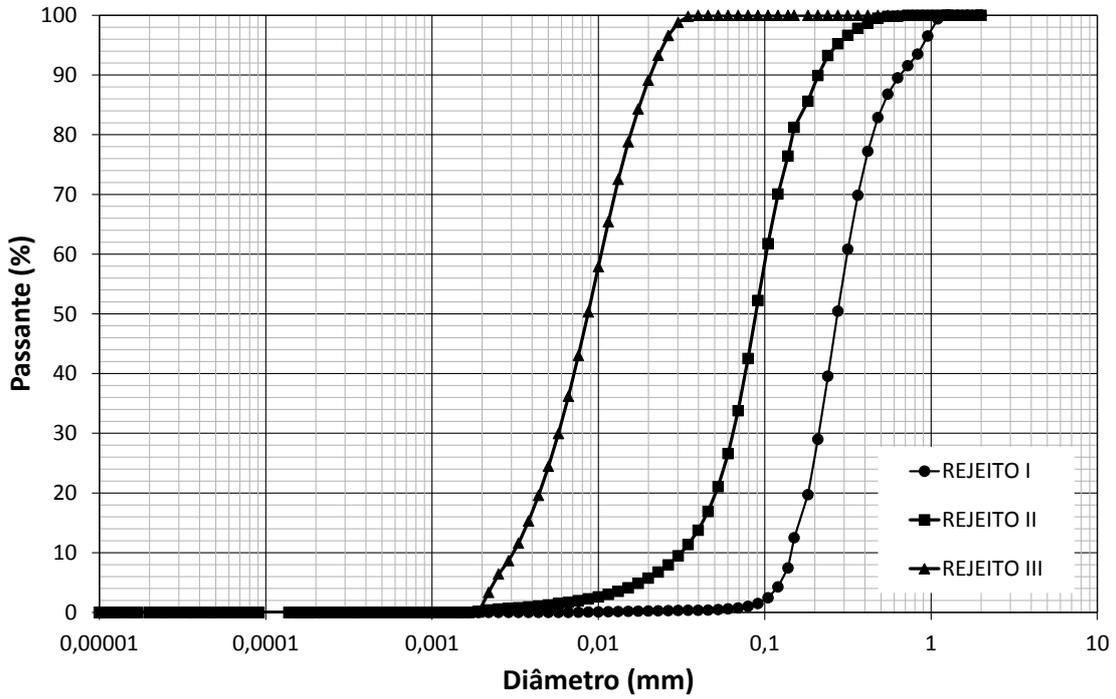


Figura 3. Curva granulométrica dos rejeitos – sem hexametáfosfato e com sonar

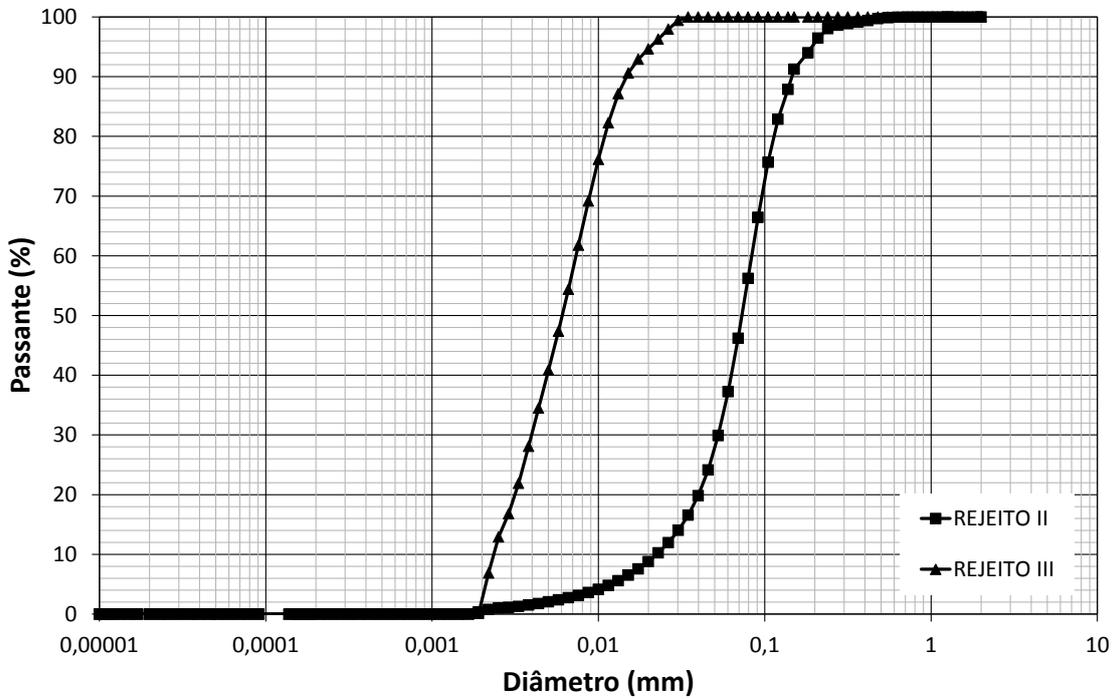


Figura 4. Curva granulométrica dos rejeitos – com hexametáfosfato e com sonar



**ENSAIOS PARA DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE SUPOTE CALIFÓRNIA (NBR-9895)**

TRECHO	CAMADA			REGISTRO	DATA
ESTACA/POSIÇÃO	MATERIAL		ENERGIA	OPERADOR	
	S1		MODIFICADO	Gustavo	
<b>Amostra Total Úmida:</b>	<b>COMPACTAÇÃO</b>			<b>Amostra Total Seca:</b>	
Cilindro nº	NGA 01	NGA 02	LFA04	NGA 04	NGA 05
Água Adicionada(%)					
Água Adicionada(ml)					
Cilindro+Solo Úmido(g)	8.526	9.308	9.719	9.424	9.724
Peso do Cilindro(g)	4.117	4.799	4.553	4.296	4.868
Peso do Solo Úmido(g)	4.409	4.509	5.165	5.128	4.856
Volume do Cilindro(cm³)	2.097	2.091	2.061	2.084	2.077
Mas. Esp. Úmida(g/cm³)	2,102	2,156	2,507	2,460	2,339

**DETERMINAÇÃO DA UMIDADE**

Cápsula nº	86	35	33	74	31	43	18	38	5	30
Cápsula+Solo Úmido(g)	63,01	73,97	89,10	78,02	41,42	47,00	65,33	52,01	66,99	61,01
Cápsula+Solo Seco(g)	57,21	67,54	79,27	69,84	37,15	42,24	57,04	45,85	58,96	54,01
Peso da Água(g)	5,80	6,43	9,83	8,18	4,27	4,76	8,29	6,16	8,03	7,00
Peso da Cápsula(g)	16,63	22,90	16,42	16,73	13,92	16,32	16,29	15,95	23,96	23,69
Peso do Solo Seco(g)	40,58	44,64	62,85	53,11	23,23	25,92	40,75	29,90	35,00	30,32
Teor de Umidade(%)	14,3	14,4	15,6	15,4	18,4	18,4	20,3	20,6	22,9	23,1
Umidade Adotada(%)	14,4		15,5		18,4		20,5		23	
Mas. Esp. Seca(g/cm³)	1,838		1,867		2,117		2,042		1,901	

**EXPANSÃO**

Altura CP (mm)	114,3	Leitura	Expansão								
Data	Hora	(mm)	(%)								
19/03/2018		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
20/03/2018		0,12	0,10	0,05	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
21/03/2018		0,12	0,10	0,05	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
22/03/2018		0,12	0,10	0,05	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
23/03/2018		0,12	0,10	0,05	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00

**PENETRAÇÃO DOS CORPOS DE PROVAS**

Anel dinamométrico nº:		Constantes do Anel a: 0,1459						b: 0,0974			
tempo	penetração	Leitura	pressão	Leitura	pressão	Leitura	pressão	Leitura	pressão	Leitura	pressão
min	(mm)	(0,001mm)	(kgf/cm²)	(0,001mm)	(kgf/cm²)	(0,001mm)	(kgf/cm²)	(0,001mm)	(kgf/cm²)	(0,001mm)	(kgf/cm²)
0,5	0,64	10	1,6	16	2,4	13	2,0	10	1,6	6	1,0
1	1,27	22	3,3	32	4,8	37	5,5	22	3,3	10	1,6
1,5	1,91	35	5,2	44	6,5	84	12,4	42	6,2	18	2,7
2	2,54	45	6,7	56	8,3	165	24,2	71	10,5	25	3,7
3	3,81	59	8,7	78	11,5	266	38,9	126	18,5	40	5,9
4	5,08	70	10,3	98	14,4	335	49,0	175	25,6	54	8,0
6	7,62	88	12,9	129	18,9	458	66,9	254	37,2	74	10,9
8	10,16	104	15,3	140	20,5	574	83,8	321	46,9	89	13,1
10	12,70	117	17,2	148	21,7	685	100,0	382	55,8	104	15,3
ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA		Carga	ISC	Carga	ISC	Carga	ISC	Carga	ISC	Carga	ISC
		Corrigida	(%)	Corrigida	(%)	Corrigida	(%)	Corrigida	(%)	Corrigida	(%)
I.S.C. 0,1"		6,9	9,9	8,3	11,8	38,6	54,9	16,6	23,6	4,5	6,4
I.S.C. 0,2"		10,5	9,9	14,4	13,7	57,7	54,8	30,0	28,5	8,5	8,0

DENS. SECA MÁX. (g/cm³)=	2,125	UMID. ÓTIMA(%)=	18,8	I.S.C.(%)=	53,7	EXPANSÃO(%)=	0,0
--------------------------	-------	-----------------	------	------------	------	--------------	-----

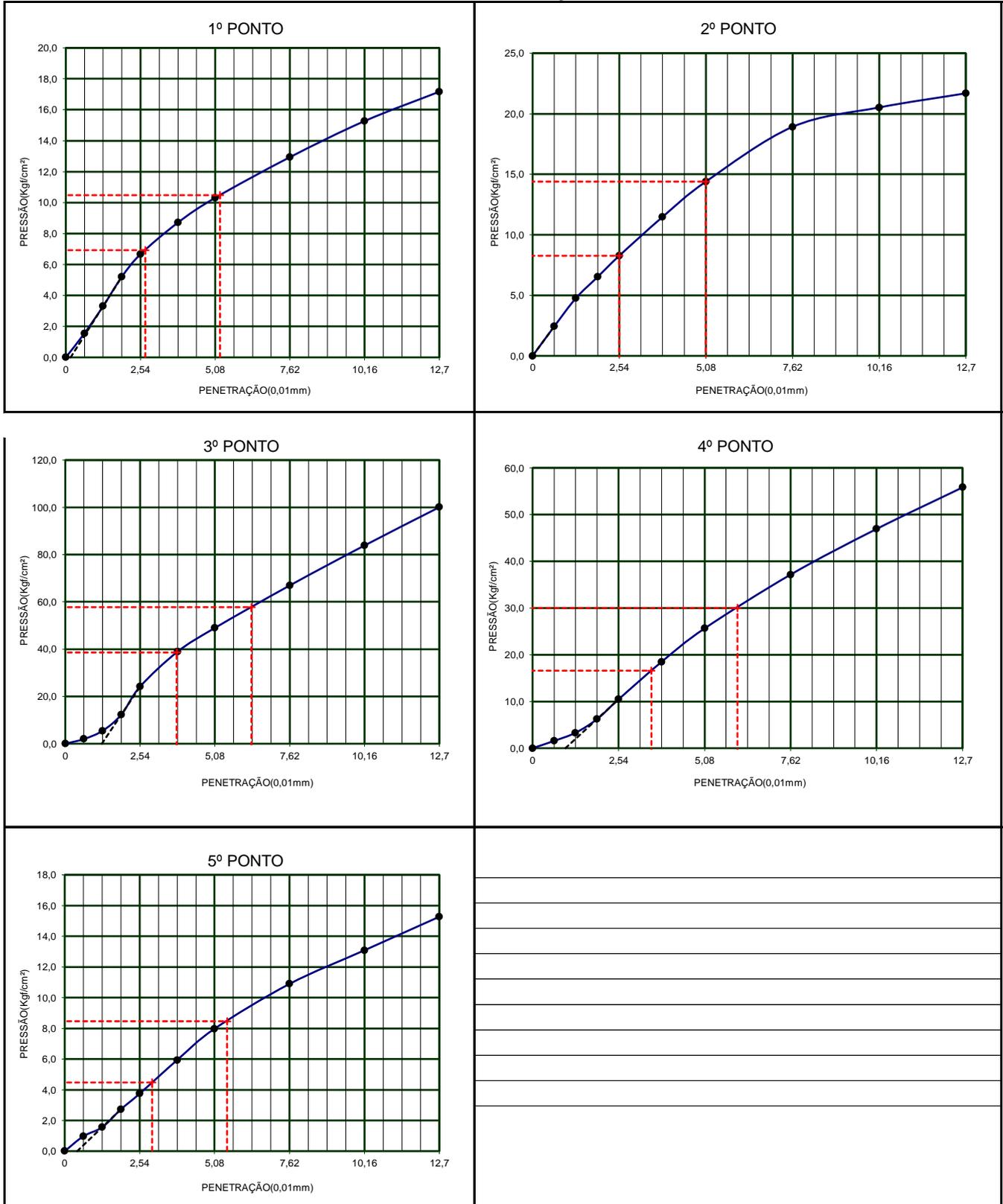
VISTO



**GRÁFICOS DE CORREÇÃO DO I.S.C.**

TRECHO	CAMADA	REGISTRO	DATA
0	0	000	19/03/2018
ESTACA/POSIÇÃO	MATERIAL	ENERGIA	OPERADOR
0	S1	MODIFICADO	Gustavo

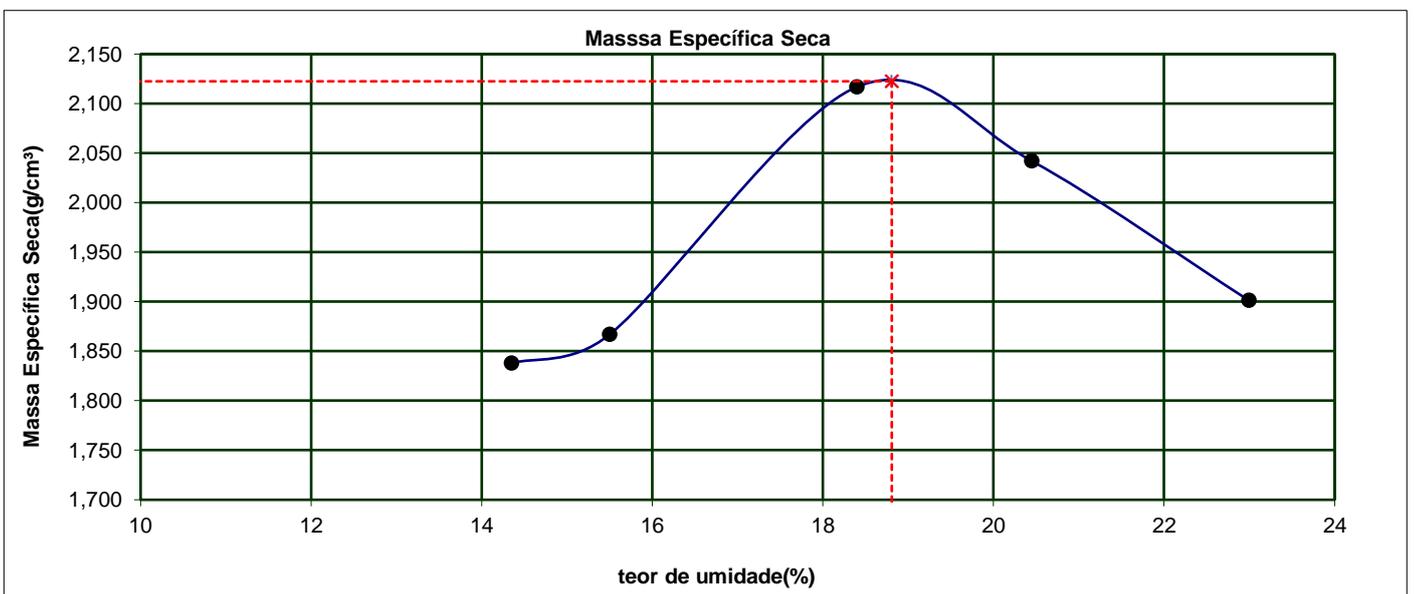
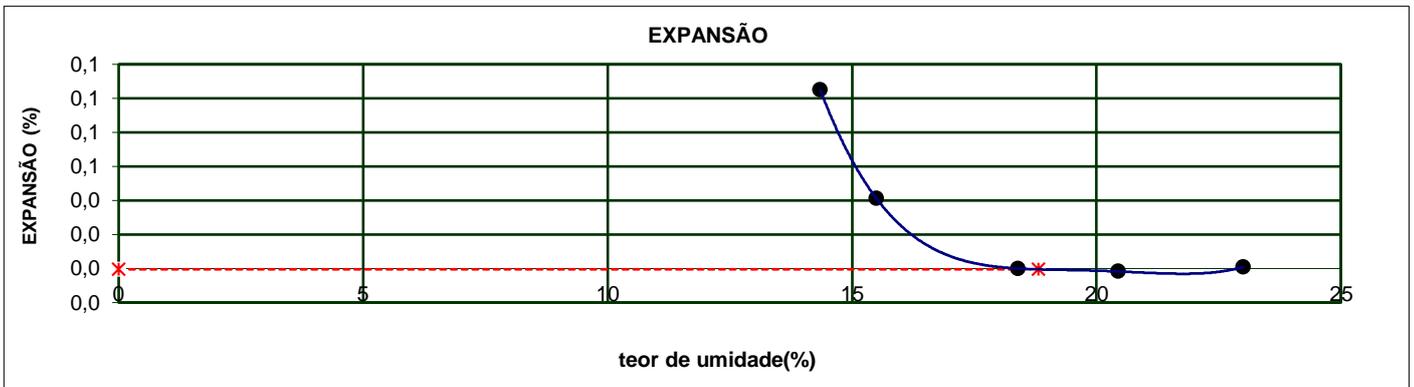
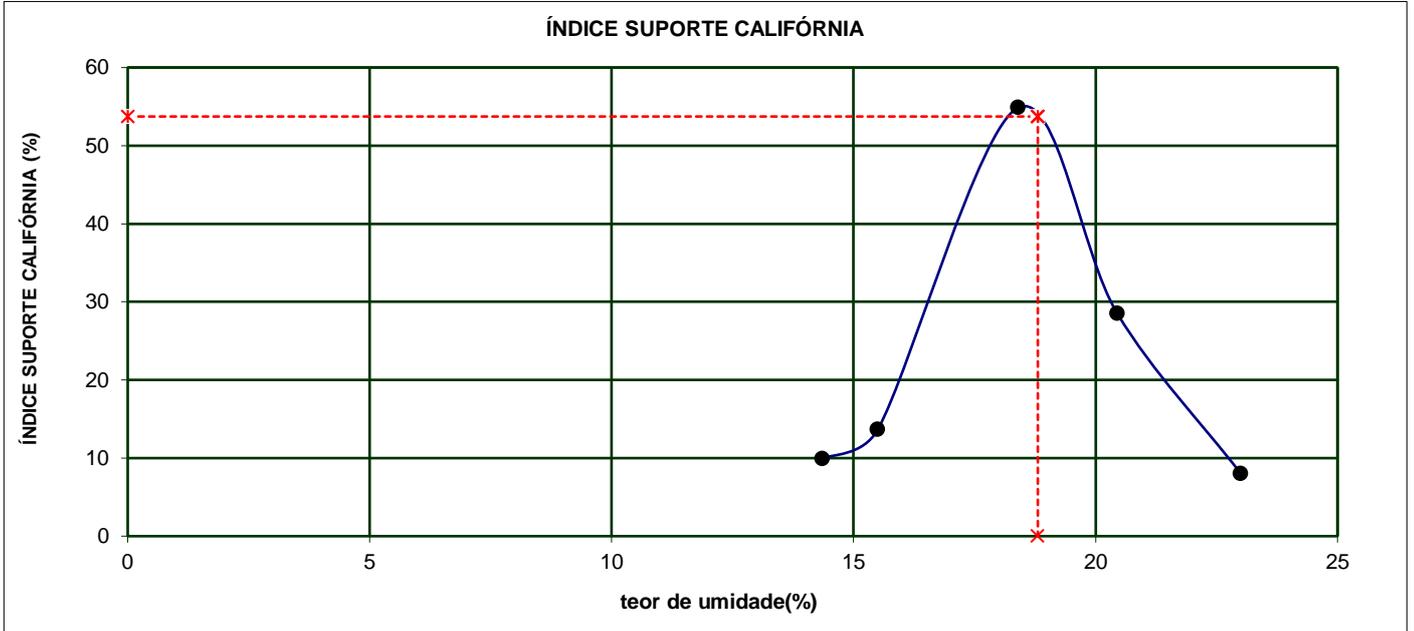
**GRÁFICOS DE CORREÇÃO I.S.C.**





**GRÁFICOS DE COMPACTAÇÃO, EXPANSÃO E I.S.C.**

TRECHO	CAMADA	REGISTRO	DATA
0	0	000	19/03/2018
ESTACA/POSIÇÃO	MATERIAL	ENERGIA	OPERADOR
0	S1	MODIFICADO	Gustavo





**ENSAIOS PARA DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE SUPOTE CALIFÓRNIA (NBR-9895)**

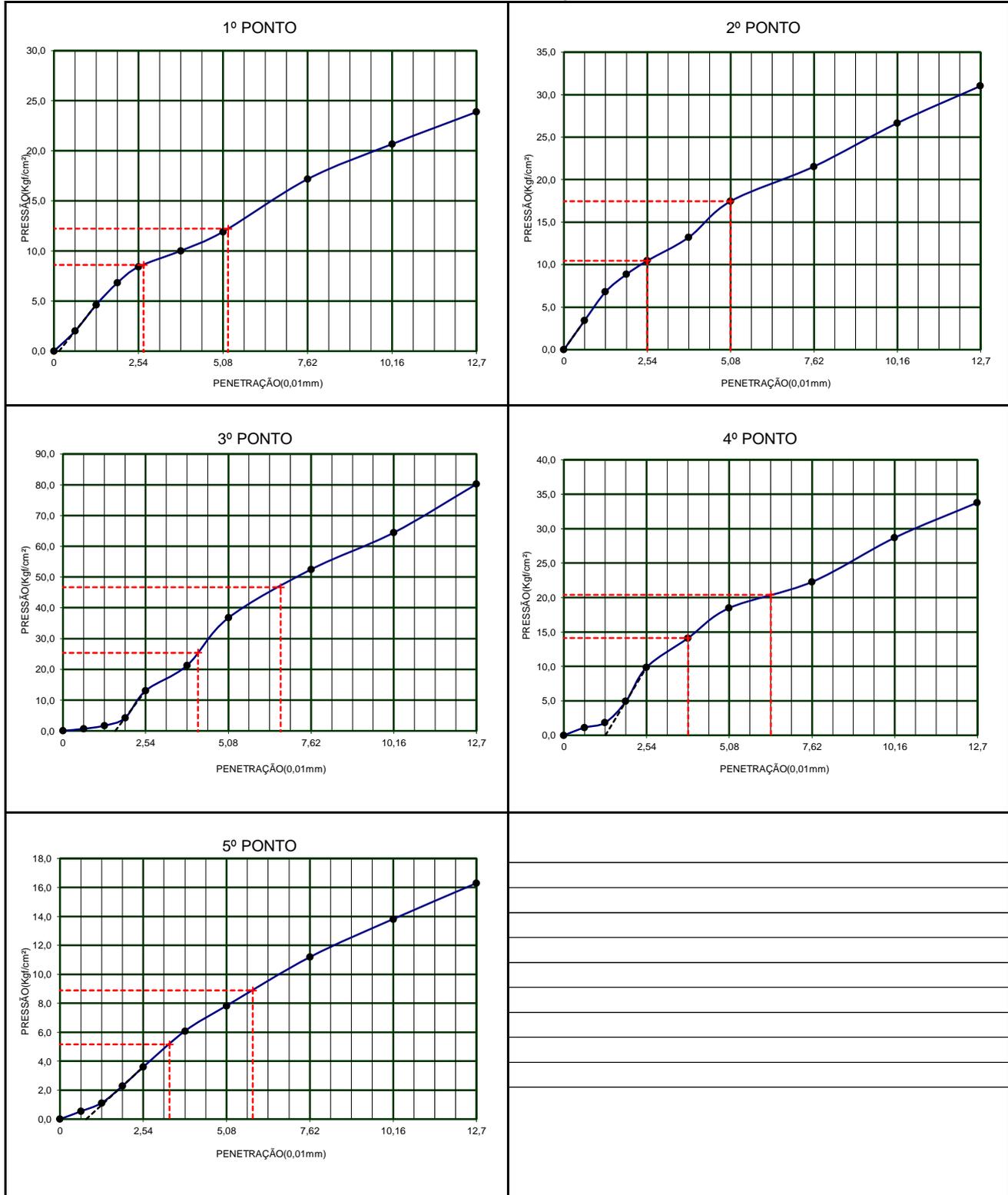
TRECHO		CAMADA				REGISTRO	DATA								
							27/03/2018								
ESTACA/POSIÇÃO		MATERIAL				ENERGIA		OPERADOR							
		M9010				MODIFICADO		Lucas							
Amostra Total Úmida:		COMPACTAÇÃO				Amostra Total Seca:									
Cilindro nº	LFA08	LFA12	LFA05	NGA 10	NGA 06										
Água Adicionada(%)															
Água Adicionada(ml)															
Cilindro+Solo Úmido(g)	9.518	9.701	9.334	9.211	9.721										
Peso do Cilindro(g)	5.068	5.067	4.187	4.166	4.782										
Peso do Solo Úmido(g)	4.450	4.634	5.147	5.045	4.939										
Volume do Cilindro(cm³)	2.073	2.072	2.070	2.084	2.092										
Mas. Esp. Úmida(g/cm³)	2,146	2,236	2,487	2,422	2,361										
<b>DETERMINAÇÃO DA UMIDADE</b>															
Cápsula nº	57	86	81	224	265	93	81	21	31	71					
Cápsula+Solo Úmido(g)	38,94	44,52	55,29	58,10	46,16	47,89	54,97	56,87	54,33	54,52					
Cápsula+Solo Seco(g)	36,36	41,50	51,46	53,84	42,05	43,44	50,01	50,41	47,60	47,90					
Peso da Água(g)	2,58	3,02	3,83	4,26	4,11	4,45	4,96	6,46	6,73	6,62					
Peso da Cápsula(g)	15,95	16,66	23,62	21,95	16,27	16,33	23,61	15,58	13,92	14,78					
Peso do Solo Seco(g)	20,41	24,84	27,84	31,89	25,78	27,11	26,40	34,83	33,68	33,12					
Teor de Umidade(%)	12,6	12,2	13,8	13,4	15,9	16,4	18,8	18,5	20,0	20,0					
Umidade Adotada(%)	12,4		13,6		16,2		18,7		20						
Mas. Esp. Seca(g/cm³)	1,910		1,969		2,141		2,041		1,968						
<b>EXPANSÃO</b>															
Altura CP (mm)	114,3	Leitura	Expansão	Leitura	Expansão	Leitura	Expansão	Leitura	Expansão	Leitura	Expansão				
Data	Hora	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)				
27/03/2018		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,10	0,00				
28/03/2018		1,11	0,97	0,72	0,63	0,01	0,01	0,06	0,00	0,11	0,01				
29/03/2018		1,13	0,98	0,73	0,63	0,01	0,01	0,07	0,00	0,11	0,01				
30/03/2018		1,13	0,98	0,73	0,64	0,00	0,00	0,07	0,00	0,11	0,01				
31/03/2018		1,13	0,98	0,73	0,64	0,00	0,00	0,07	0,00	0,11	0,01				
<b>PENETRAÇÃO DOS CORPOS DE PROVAS</b>															
Anel dinamométrico nº:		Constantes do Anel						a: 0,1459				b: 0,0974			
tempo	penetração	Leitura	pressão	Leitura	pressão	Leitura	pressão	Leitura	pressão	Leitura	pressão	Leitura	pressão		
min	(mm)	(0,001mm)	(kgf/cm²)	(0,001mm)	(kgf/cm²)	(0,001mm)	(kgf/cm²)	(0,001mm)	(kgf/cm²)	(0,001mm)	(kgf/cm²)	(0,001mm)	(kgf/cm²)		
0,5	0,64	13	2,0	23	3,5	4	0,7	7	1,1	3	0,5				
1	1,27	31	4,6	46	6,8	11	1,7	12	1,8	7	1,1				
1,5	1,91	46	6,8	60	8,9	28	4,2	33	4,9	15	2,3				
2	2,54	57	8,4	71	10,5	89	13,1	67	9,9	24	3,6				
3	3,81	68	10,0	90	13,2	145	21,3	96	14,1	41	6,1				
4	5,08	81	11,9	119	17,5	251	36,7	126	18,5	53	7,8				
6	7,62	117	17,2	147	21,5	359	52,5	152	22,3	76	11,2				
8	10,16	141	20,7	182	26,7	441	64,4	196	28,7	94	13,8				
10	12,70	163	23,9	212	31,0	549	80,2	231	33,8	111	16,3				
ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA		Carga	ISC	Carga	ISC	Carga	ISC	Carga	ISC	Carga	ISC	Carga	ISC		
		Corrigida	(%)	Corrigida	(%)	Corrigida	(%)	Corrigida	(%)	Corrigida	(%)	Corrigida	(%)		
I.S.C. 0,1"		8,6	12,2	10,5	14,9	25,4	36,1	14,1	20,1	5,2	7,3				
I.S.C. 0,2"		12,2	11,6	17,5	16,6	46,7	44,3	20,4	19,3	8,9	8,4				
DENS. SECA MÁX. (g/cm³)=		2,148		UMID. ÓTIMA(%)=		16,5		I.S.C.(%)=		44,2		EXPANSÃO(%)=		0,0	
VISTO _____															



**GRÁFICOS DE CORREÇÃO DO I.S.C.**

TRECHO	0	CAMADA	0	REGISTRO	000	DATA	27/03/2018
ESTACA/POSIÇÃO	0	MATERIAL	M9010	ENERGIA	MODIFICADO	OPERADOR	Lucas

**GRÁFICOS DE CORREÇÃO I.S.C.**

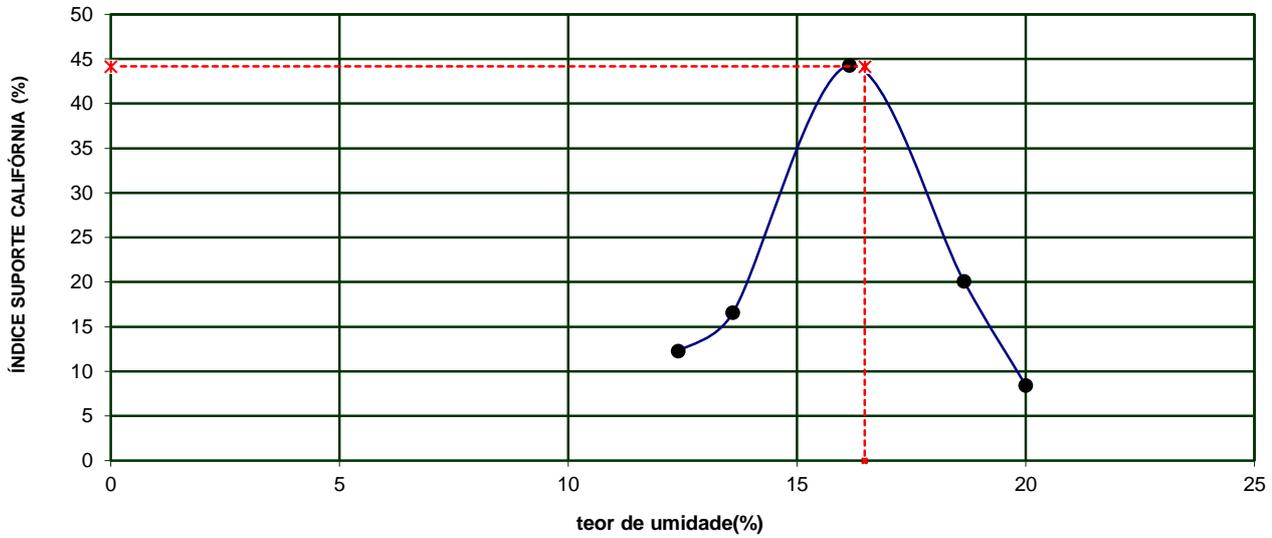




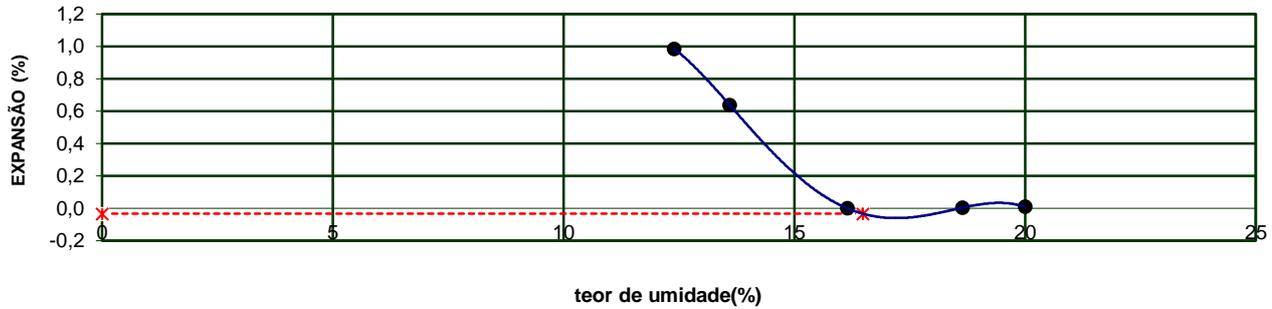
**GRÁFICOS DE COMPACTAÇÃO, EXPANSÃO E I.S.C.**

TRECHO	0	CAMADA	0	REGISTRO	000	DATA	27/03/2018
ESTACA/POSIÇÃO	0	MATERIAL	M9010	ENERGIA	MODIFICADO	OPERADOR	Lucas

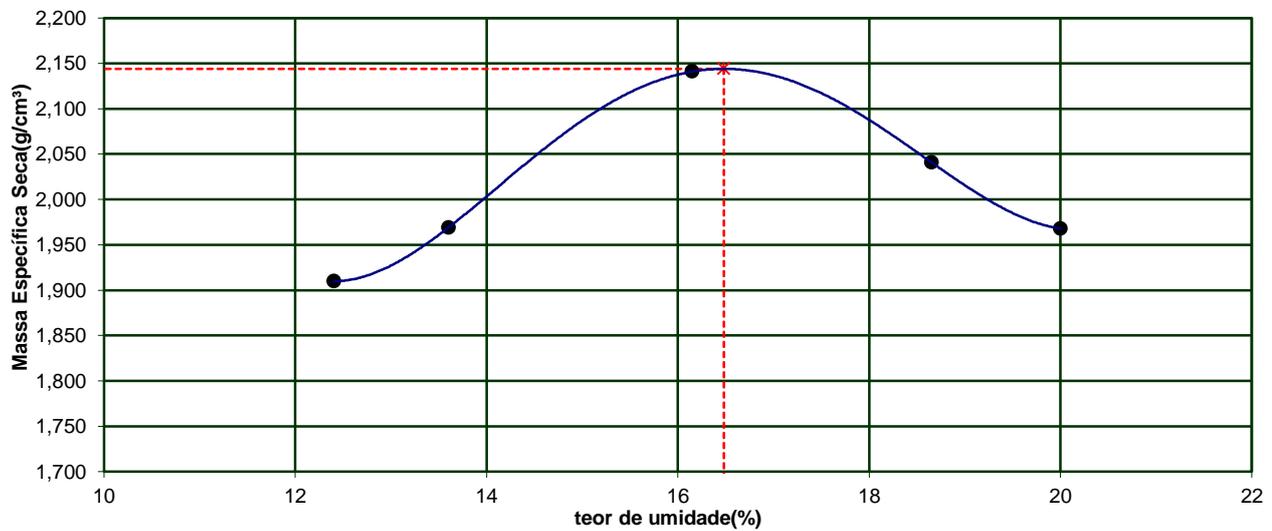
ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA



EXPANSÃO



Massa Específica Seca



**ENSAIOS PARA DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE SUPOTE CALIFÓRNIA (NBR-9895)**

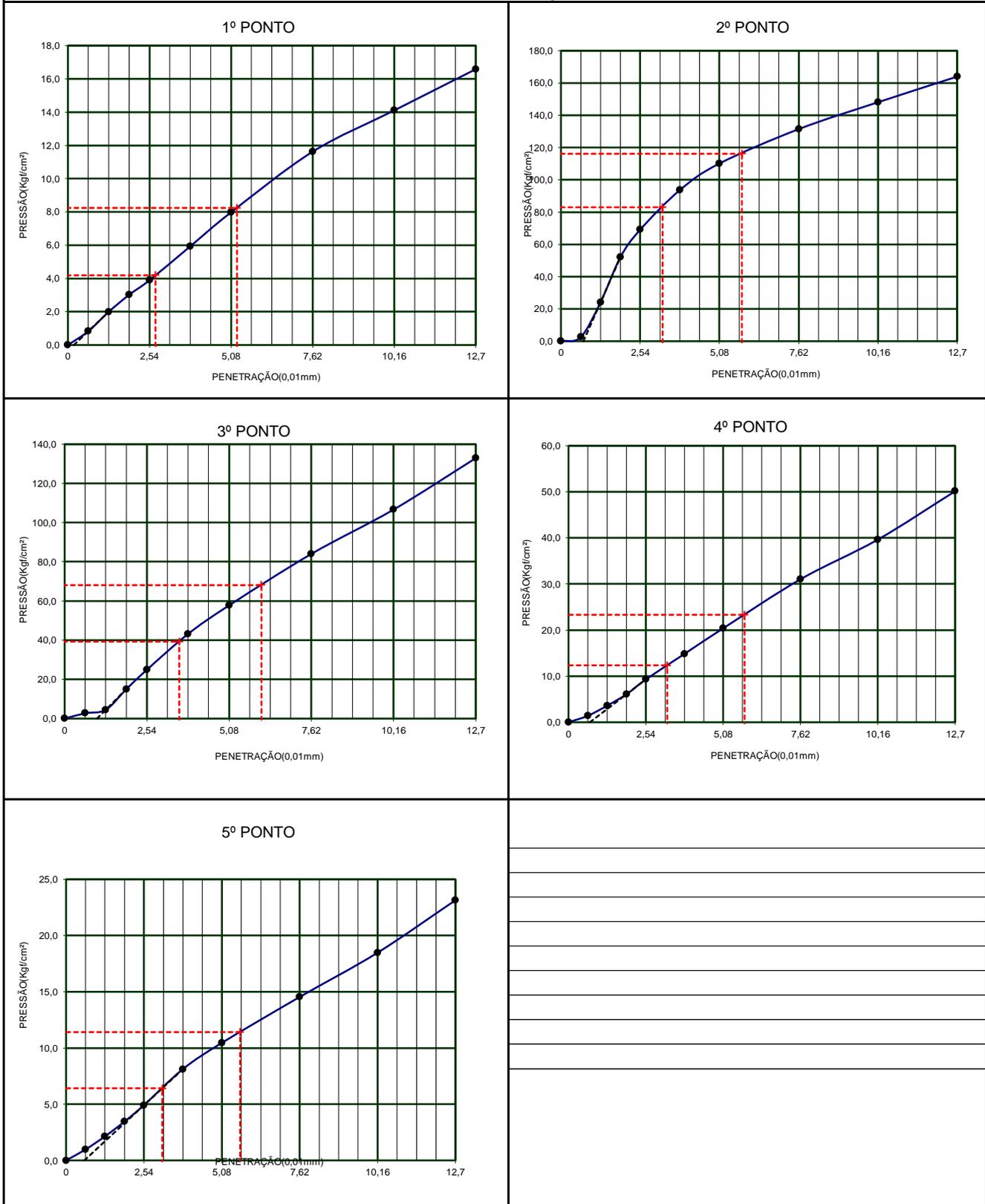
TRECHO		CAMADA				REGISTRO	DATA				
							09/04/2018				
ESTACA/POSIÇÃO		MATERIAL				ENERGIA		OPERADOR			
		M8020				MODIFICADO		Anderson			
Amostra Total Úmida:		COMPACTAÇÃO				Amostra Total Seca:					
Cilindro nº	LFA 25	LFA05		LFA04		LFA12		LFA 06			
Água Adicionada(%)											
Água Adicionada(ml)											
Cilindro+Solo Úmido(g)	8.858	9.278		9.762		10.167		10.044			
Peso do Cilindro(g)	4.388	4.187		4.553		5.067		5.060			
Peso do Solo Úmido(g)	4.470	5.091		5.208		5.100		4.984			
Volume do Cilindro(cm³)	2.066	2.070		2.061		2.072		2.072			
Mas. Esp. Úmida(g/cm³)	2,164	2,460		2,528		2,461		2,405			
DETERMINAÇÃO DA UMIDADE											
Cápsula nº	18	38	37	21	230	264	5	224	290	231	
Cápsula+Solo Úmido(g)	91,89	84,77	53,91	53,11	78,13	62,53	60,02	62,51	70,12	72,04	
Cápsula+Solo Seco(g)	83,88	77,37	49,46	48,68	70,78	57,30	54,93	56,97	63,44	64,99	
Peso da Água(g)	8,01	7,40	4,45	4,43	7,35	5,23	5,09	5,54	6,68	7,05	
Peso da Cápsula(g)	16,30	15,96	17,28	15,58	22,32	22,42	23,96	21,95	24,00	23,11	
Peso do Solo Seco(g)	67,58	61,41	32,18	33,10	48,46	34,88	30,97	35,02	39,44	41,88	
Teor de Umidade(%)	11,9	12,1	13,8	13,4	15,2	15,0	16,4	15,8	16,9	16,8	
Umidade Adotada(%)	12,0		13,6		15,1		16,1		16,9		
Mas. Esp. Seca(g/cm³)	1,932		2,165		2,196		2,120		2,058		
EXPANSÃO											
Altura CP (mm)	114,3	Leitura	Expansão	Leitura	Expansão	Leitura	Expansão	Leitura	Expansão	Leitura	Expansão
Data	Hora	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)
09/04/2018		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00
10/04/2018		0,30	0,26	0,03	0,03	0,00	0,00	0,05	0,00	0,04	0,03
11/04/2018		0,30	0,26	0,03	0,03	0,00	0,00	0,05	0,00	0,05	0,04
12/04/2018		0,27	0,24	0,03	0,03	0,00	0,00	0,05	0,00	0,02	0,02
13/04/2018		0,27	0,23	0,03	0,03	0,00	0,00	0,05	0,01	0,02	0,01
PENETRAÇÃO DOS CORPOS DE PROVAS											
Anel dinamométrico nº:		Constantes do Anel a: 0,1459						b: 0,0974			
tempo	penetração	Leitura	pressão	Leitura	pressão	Leitura	pressão	Leitura	pressão	Leitura	pressão
min	(mm)	(0,001mm)	(kgf/cm²)	(0,001mm)	(kgf/cm²)	(0,001mm)	(kgf/cm²)	(0,001mm)	(kgf/cm²)	(0,001mm)	(kgf/cm²)
0,5	0,64	5	0,8	17	2,6	18	2,7	9	1,4	6	1,0
1	1,27	13	2,0	165	24,2	30	4,5	24	3,6	14	2,1
1,5	1,91	20	3,0	356	52,0	102	15,0	41	6,1	23	3,5
2	2,54	26	3,9	473	69,1	170	24,9	63	9,3	33	4,9
3	3,81	40	5,9	641	93,6	295	43,1	101	14,8	55	8,1
4	5,08	54	8,0	754	110,1	395	57,7	139	20,4	71	10,5
6	7,62	79	11,6	900	131,4	575	84,0	212	31,0	99	14,5
8	10,16	96	14,1	1014	148,0	730	106,6	271	39,6	126	18,5
10	12,70	113	16,6	1123	163,9	910	132,9	343	50,1	158	23,1
ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA		Carga	ISC	Carga	ISC	Carga	ISC	Carga	ISC	Carga	ISC
		Corrigida	(%)	Corrigida	(%)	Corrigida	(%)	Corrigida	(%)	Corrigida	(%)
I.S.C. 0,1"		4,2	6,0	83,0	118,1	39,3	55,8	12,4	17,6	6,4	9,1
I.S.C. 0,2"		8,2	7,8	116,1	110,2	68,1	64,6	23,3	22,1	11,4	10,8
DENS. SECA MÁX. (g/cm³)=		2,195		UMID. ÓTIMA(%)=		14,6		I.S.C.(%)=		90,8	
								EXPANSÃO(%)=		0,0	
VISTO _____											



GRÁFICOS DE CORREÇÃO DO I.S.C.

TRECHO	0	CAMADA	0	REGISTRO	000	DATA	09/04/2018
ESTACA/POSIÇÃO	0	MATERIAL	M8020	ENERGIA	MODIFICADO	OPERADOR	Anderson

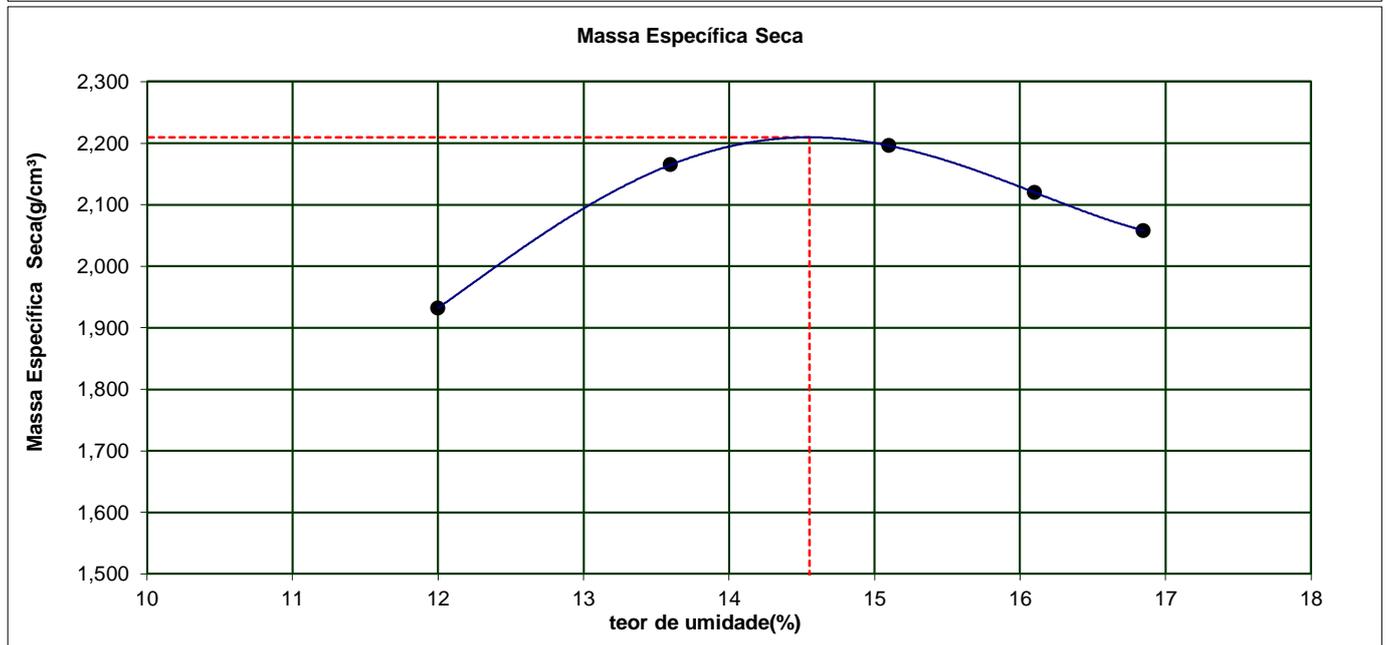
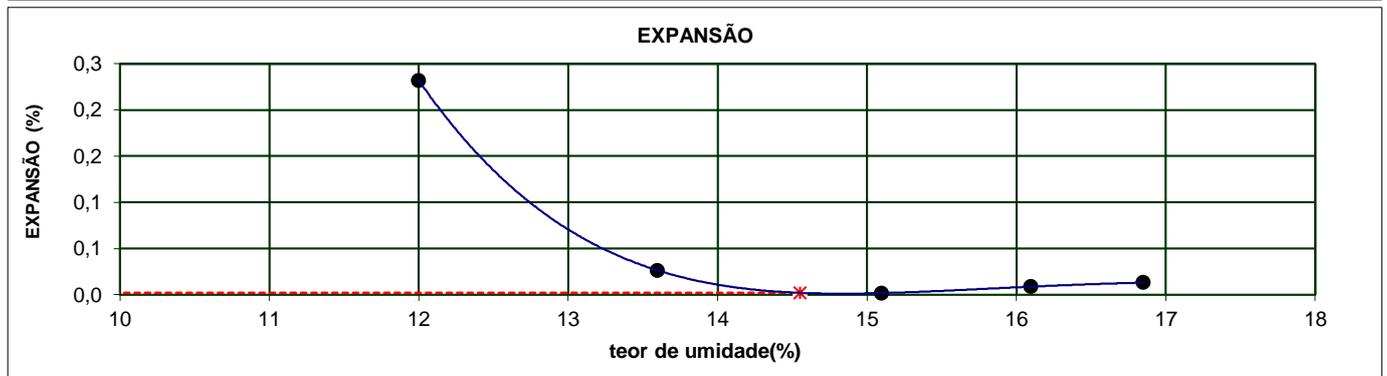
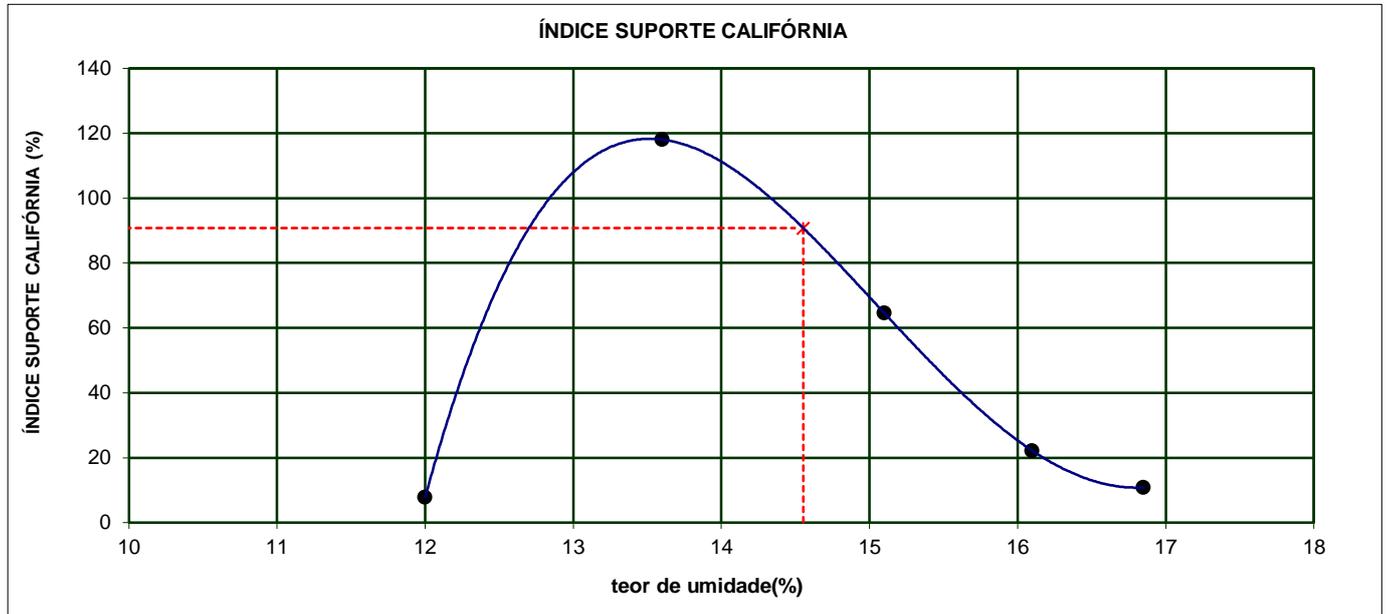
GRÁFICOS DE CORREÇÃO I.S.C.





**GRÁFICOS DE COMPACTAÇÃO, EXPANSÃO E I.S.C.**

TRECHO	0	CAMADA	0	REGISTRO	000	DATA	09/04/2018
ESTACA/POSIÇÃO	0	MATERIAL	M8020	ENERGIA	MODIFICADO	OPERADOR	Anderson





**ENSAIOS PARA DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE SUPOTE CALIFÓRNIA (NBR-9895)**

TRECHO		CAMADA		REGISTRO	DATA
					23/04/2018
ESTACA/POSIÇÃO		MATERIAL		ENERGIA	OPERADOR
		M7030		MODIFICADO	André
<b>Amostra Total Úmida:</b>		<b>COMPACTAÇÃO</b>		<b>Amostra Total Seca:</b>	
Cilindro nº	NGA02	LFA10	LFA09	LFA7	LFA13
Água Adicionada(%)					
Água Adicionada(ml)					
Cilindro+Solo Úmido(g)	9.312	9.432	9.248	9.213	9.998
Peso do Cilindro(g)	4.799	4.345	4.209	4.352	5.137
Peso do Solo Úmido(g)	4.513	5.087	5.039	4.861	4.862
Volume do Cilindro(cm³)	2.091	2.068	2.068	2.056	2.077
Mas. Esp. Úmida(g/cm³)	2,158	2,460	2,437	2,365	2,340

**DETERMINAÇÃO DA UMIDADE**

Cápsula nº	33	59	32	93	232	71	292	31	33	30
Cápsula+Solo Úmido(g)	51,71	52,67	63,06	66,61	70,12	57,03	43,44	39,43	49,97	56,64
Cápsula+Solo Seco(g)	48,40	49,24	58,05	61,29	64,07	51,59	40,35	35,67	44,91	51,59
Peso da Água(g)	3,31	3,43	5,01	5,32	6,05	5,44	3,09	3,76	5,06	5,05
Peso da Cápsula(g)	16,41	16,30	15,91	16,33	22,53	14,79	22,16	13,92	16,46	23,71
Peso do Solo Seco(g)	31,99	32,94	42,14	44,96	41,54	36,80	18,19	21,75	28,45	27,88
Teor de Umidade(%)	10,3	10,4	11,9	11,8	14,6	14,8	17,0	17,3	17,8	18,1
Umidade Adotada(%)	10,4		11,9		14,7		17,2		18,0	
Mas. Esp. Seca(g/cm³)	1,956		2,200		2,125		2,018		1,984	

**EXPANSÃO**

Altura CP (mm)	114,3	Leitura	Expansão								
Data	Hora	(mm)	(%)								
23/04/2018		0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00
24/04/2018		0,22	0,19	0,04	0,03	0,04	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00
25/04/2018		0,23	0,20	0,04	0,03	0,05	0,01	0,08	0,00	0,00	0,00
26/04/2018		0,23	0,20	0,04	0,03	0,05	0,01	0,08	0,00	0,00	0,00
27/04/2018		0,23	0,20	0,04	0,03	0,05	0,01	0,08	0,01	0,00	0,00

**PENETRAÇÃO DOS CORPOS DE PROVAS**

Anel dinamométrico nº:		Constantes do Anel a: 0,1459						b: 0,0974			
tempo	penetração	Leitura	pressão	Leitura	pressão	Leitura	pressão	Leitura	pressão	Leitura	pressão
min	(mm)	(0,001mm)	(kgf/cm²)	(0,001mm)	(kgf/cm²)	(0,001mm)	(kgf/cm²)	(0,001mm)	(kgf/cm²)	(0,001mm)	(kgf/cm²)
0,5	0,64	24	3,6	3	0,5	8	1,3	6	1,0	3	0,5
1	1,27	68	10,0	20	3,0	17	2,6	10	1,6	4	0,7
1,5	1,91	95	14,0	72	10,6	36	5,3	14	2,1	7	1,1
2	2,54	114	16,7	147	21,5	74	10,9	18	2,7	11	1,7
3	3,81	141	20,7	323	47,2	119	17,5	26	3,9	15	2,3
4	5,08	163	23,9	460	67,2	141	20,7	31	4,6	21	3,2
6	7,62	189	27,7	667	97,4	164	24,0	43	6,4	31	4,6
8	10,16	213	31,2	816	119,2	196	28,7	52	7,7	39	5,8
10	12,70	236	34,5	981	143,2	246	36,0	64	9,4	46	6,8
ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA		Carga	ISC	Carga	ISC	Carga	ISC	Carga	ISC	Carga	ISC
		Corrigida	(%)	Corrigida	(%)	Corrigida	(%)	Corrigida	(%)	Corrigida	(%)
I.S.C. 0,1"		17,6	25,0	50,4	71,8	17,5	24,9	2,7	3,9	2,0	2,9
I.S.C. 0,2"		24,3	23,1	84,7	80,4	22,4	21,2	4,6	4,4	3,6	3,4

DENS. SECA MÁX. (g/cm³)=	2,220	UMID. ÓTIMA(%)=	12,5	I.S.C.(%)=	75,4	EXPANSÃO(%)=	0,0
--------------------------	-------	-----------------	------	------------	------	--------------	-----

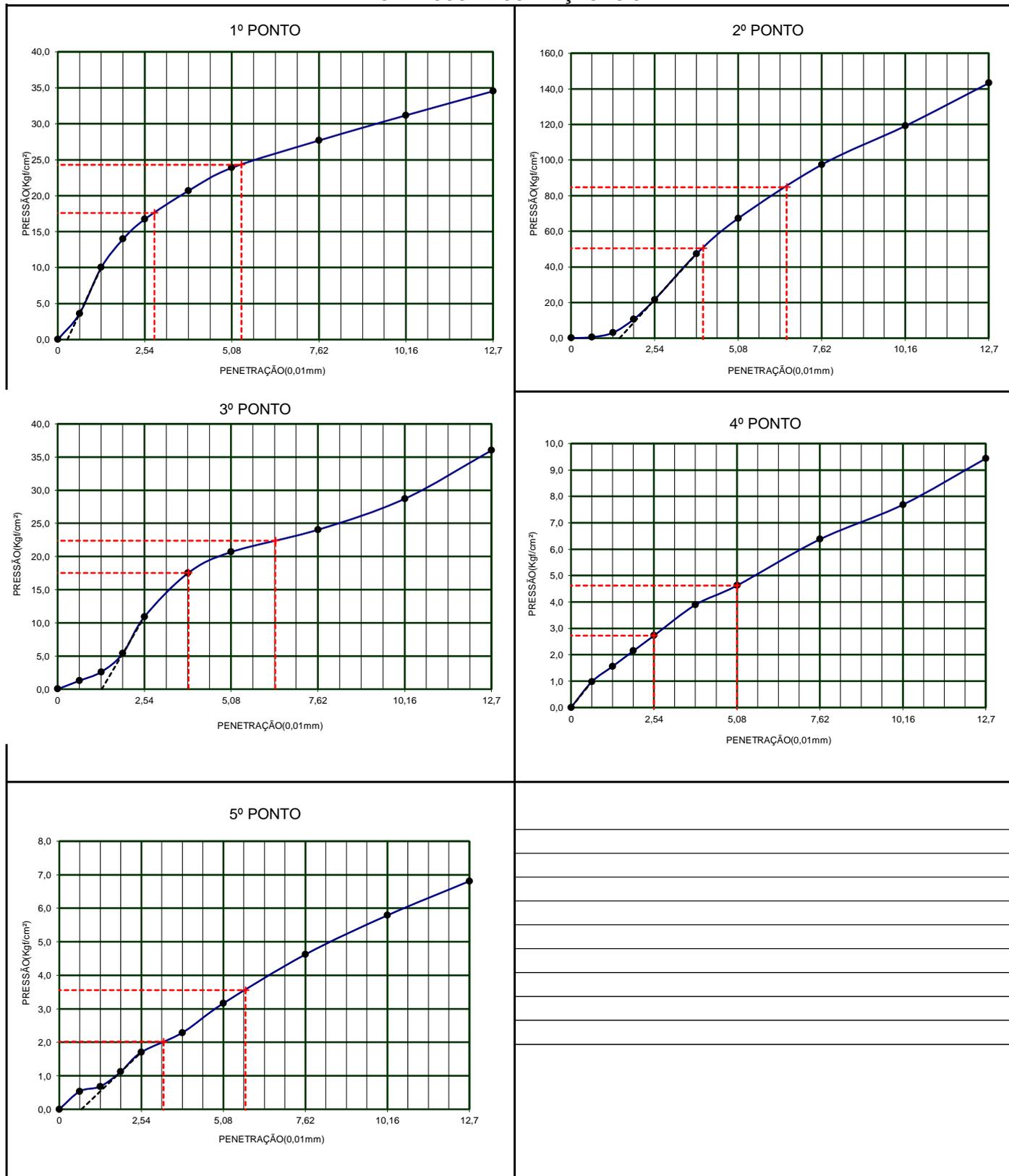
VISTO



**GRÁFICOS DE CORREÇÃO DO I.S.C.**

TRECHO	0	CAMADA	0	REGISTRO	000	DATA	23/04/2018
ESTACA/POSIÇÃO	0	MATERIAL	M7030	ENERGIA	MODIFICADO	OPERADOR	André

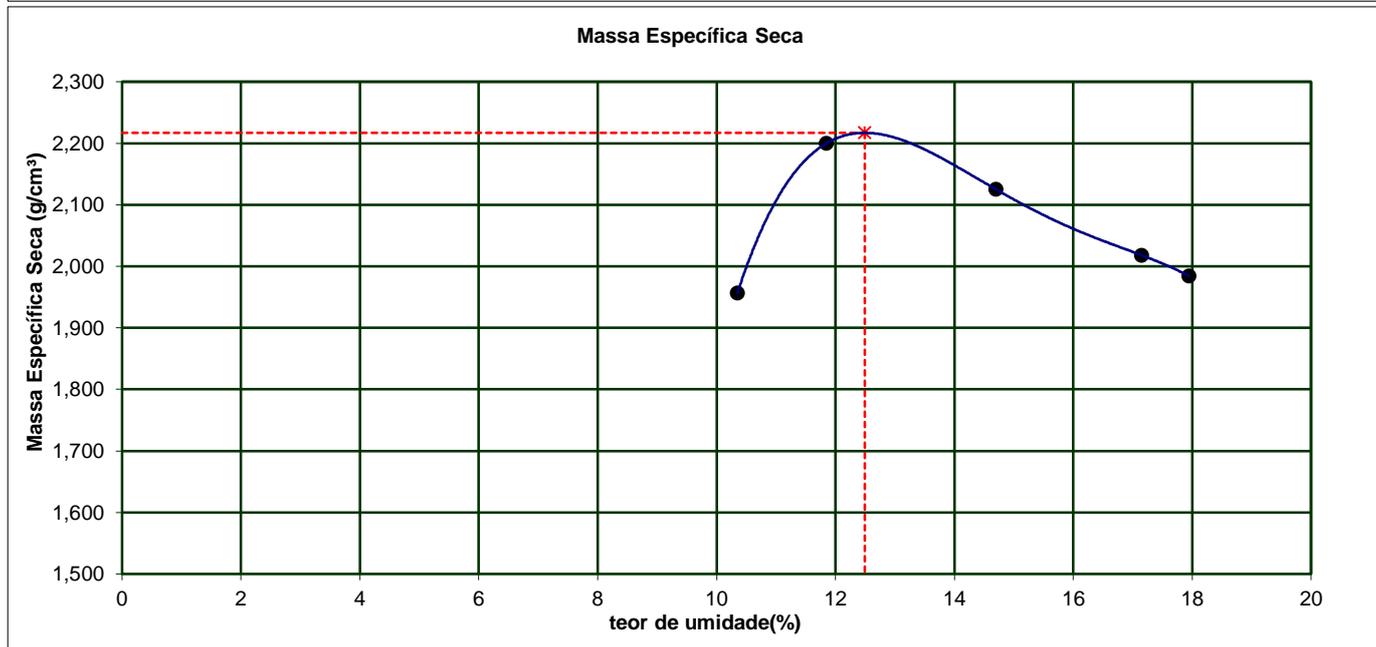
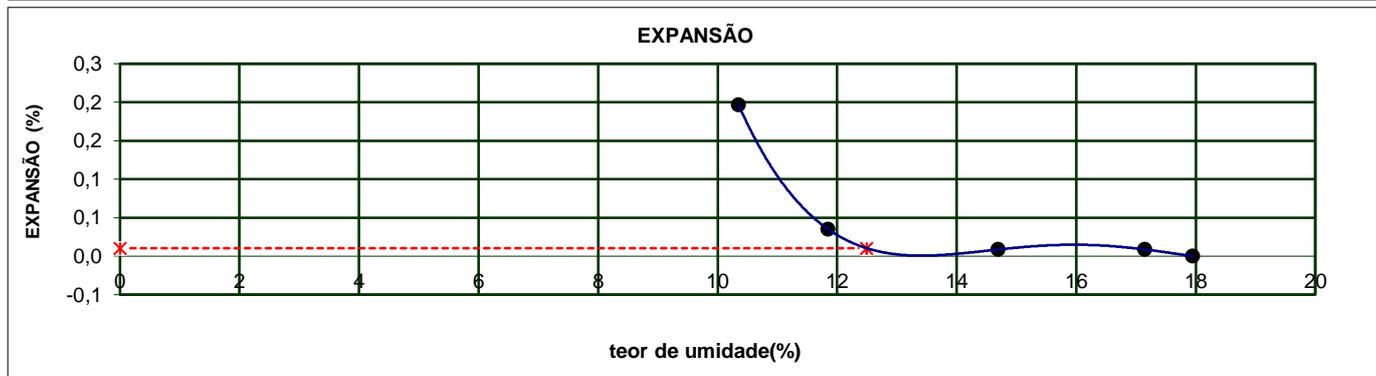
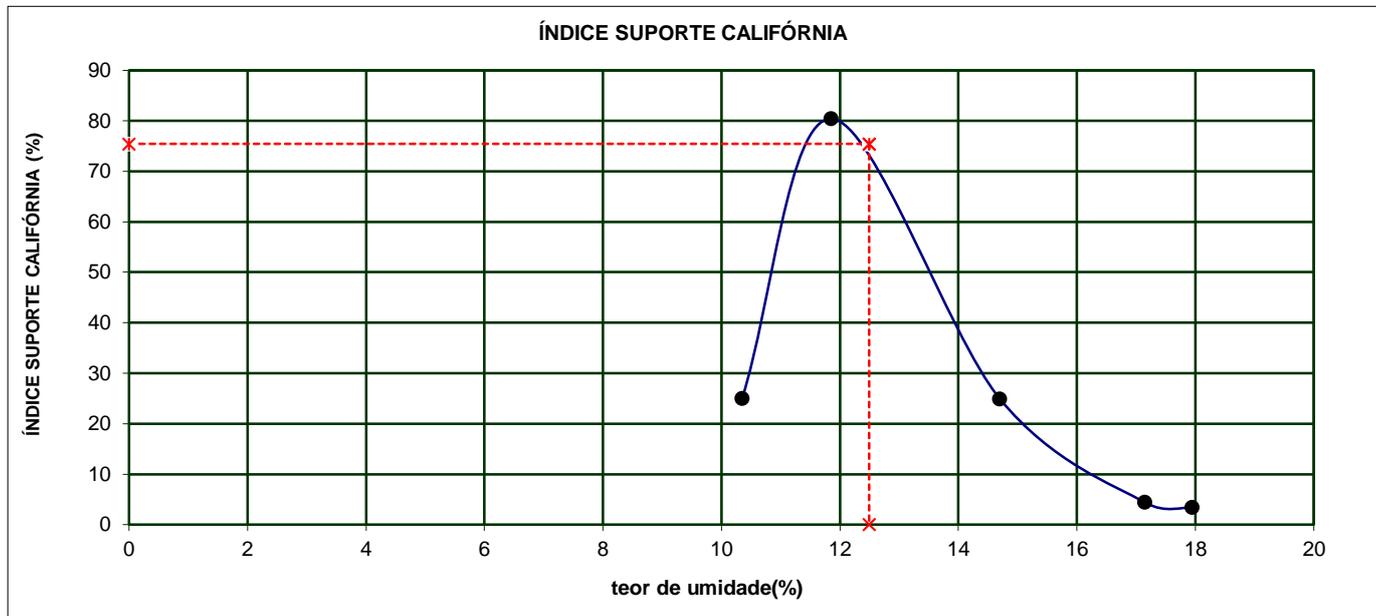
**GRÁFICOS DE CORREÇÃO I.S.C.**





**GRÁFICOS DE COMPACTAÇÃO, EXPANSÃO E I.S.C.**

TRECHO	0	CAMADA	0	REGISTRO	000	DATA	23/04/2018
ESTACA/POSIÇÃO	0	MATERIAL	M7030	ENERGIA	MODIFICADO	OPERADOR	André





**RELATÓRIO PAT-RT-LAB-1947.18-001**

**ENSAIOS DE LABORATÓRIO**

**CLIENTE: ELEONARDO LUCAS PEREIRA**

**OBRA: VIA 040**

REVISÕES	DESCRIÇÃO	DATA	PREP.	VERIF	APROV
00	Emissão Inicial	04/05/2018	LN	FT	FT

	<b>RELATÓRIO Nº PAT-RT-LAB-1947.18-001</b> <b>ENSAIOS DE LABORATÓRIO</b>	
<b>CLIENTE:</b>	ELEONARDO LUCAS PEREIRA	Revisão Nº
<b>PROJETO:</b>	VIA 040	00
<b>LOCAL:</b>	-	Página 2 de 4

## Sumário

<b>1.</b>	<b>APRESENTAÇÃO .....</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>3</b>
<b>3.</b>	<b>IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS E SERVIÇOS REALIZADOS .....</b>	<b>3</b>
<b>4.</b>	<b>METODOLOGIA APLICADA .....</b>	<b>4</b>
4.1.	Triaxial Dinâmico .....	4
<b>5.</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>4</b>

 <b>PATTROL</b>	<b>RELATÓRIO Nº PAT-RT-LAB-1947.18-001</b> <b>ENSAIOS DE LABORATÓRIO</b>	
	<b>CLIENTE:</b> ELEONARDO LUCAS PEREIRA	Revisão Nº 00
	<b>PROJETO:</b> VIA 040	
	<b>LOCAL:</b> -	Página 3 de 4

## 1. APRESENTAÇÃO

A Patrol – Investigações Geotécnicas Ltda. é uma empresa de consultoria na área de tecnologia de materiais aplicados as obras de construção. Nosso laboratório está preparado para ensaiar os mais diversos materiais procurando obter os parâmetros técnicos que caracterizam o seu comportamento quando aplicados às mais diversas obras de infra-estrutura. Neste contexto, oferecemos aos nossos clientes a mais avançada tecnologia de ensaios especiais em geotécnica, garantindo a mais elevada qualidade dos resultados aliando-se a rapidez na execução dos ensaios.

## 2. INTRODUÇÃO

O presente relatório apresenta os resultados de ensaios de Módulo de Resiliência de laboratório, realizados em amostras deformadas coletadas e entregues à Patrol.

## 3. IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS E SERVIÇOS REALIZADOS

A Tabela 3.1 discrimina as amostras recebidas e os serviços realizados encontram-se na Tabela 3.2.

Tabela 3.1 – Identificação das amostras

Registro Patrol	Identificação	Tipo de amostra
12345	70% Solo Laterítico - 30% Rejeito Grosso (A-1-b)	Deformada
12346	80% Solo Laterítico - 20% Rejeito Grosso (A-1-b)	Deformada
12347	90% Solo Laterítico - 10% Rejeito Grosso (A-1-b)	Deformada
12348	100% Solo Laterítico	Deformada

Tabela 3.2 – Ensaios executados

Ensaios	Programados	Executados
Módulo de Resiliência	04	04

	<b>RELATÓRIO Nº PAT-RT-LAB-1947.18-001</b> <b>ENSAIOS DE LABORATÓRIO</b>	
	CLIENTE: ELEONARDO LUCAS PEREIRA	Revisão Nº 00
	PROJETO: VIA 040	Página 4 de 4
LOCAL: -		

#### 4. METODOLOGIA APLICADA

- Triaxial Dinâmico – DNIT 134/2010 ME

##### 4.1. Triaxial Dinâmico

Os corpos de prova foram moldados com diâmetro aproximado de 71 mm e altura de 144 mm.

Para a realização do ensaio, os corpos de prova obedeceram às condições de moldagem fornecidas ao laboratório pelo cliente, Eleonardo Lucas Pereira.

O ensaio foi realizado em células de confinamento em amostras isoladas por membranas de látex.

#### 5. ANEXOS

Anexo os resultados e fichas dos ensaios realizados.

Atenciosamente,

Fernando César S. Tavares

Eng. Civil

Patrol Investigações Geotécnicas Ltda.

Telefone (31) 3462.0722 / Celular (31) 9195-8786

	<b>RELATÓRIO Nº PAT-RT-LAB-1947.18-001</b> <b>ENSAIOS DE LABORATÓRIO</b>	
CLIENTE:	ELEONARDO LUCAS PEREIRA	Revisão Nº  00
PROJETO:	VIA 040	
LOCAL:	-	

## **REGISTRO 12345**

**70% Solo Laterítico - 30% Rejeito Grosso (A-1-b)**

## ENSAIO TRIAXIAL DINÂMICO

Obra: <b>Via 040</b>	Amostra: <b>70% Solo Laterítico + 30% Rejeito Grosso</b>	Dimens. C.P. <b>7,12 X 14,45 cm</b>	Triaxial <b>Wemerson</b>
Interessado: <b>Eleonardo Lucas Pereira</b>		Peso C.P. (g) <b>1385,7</b>	Análise: <b>Fernando</b>
Camada: <b>-</b>	Localização: <b>-</b>	Umidade (%) <b>11,97</b>	Data: <b>03/05/2018</b>
Material: <b>Solo e Rejeit Unidades: MPa</b>	Energia: <b>INTERMEDIÁRIO</b>	M.E.A.S <b>2,150</b>	Reg.: <b>2018.12345</b>

DADOS DO ENSAIO TRIAXIAL DINÂMICO			
$\sigma_3$	$\sigma_d$	$\epsilon_a$	MR
(MPa)	(MPa)		(MPa)
0,021	0,021	0,000286	72
	0,041	0,000503	82
	0,062	0,000731	85
0,035	0,035	0,000353	98
	0,069	0,000738	93
	0,103	0,001058	97
0,050	0,050	0,000538	94
	0,103	0,001011	102
	0,155	0,001399	111
0,069	0,069	0,000734	94
	0,138	0,001296	106
	0,207	0,001520	136
0,103	0,103	0,000682	151
	0,207	0,001276	162
	0,309	0,001510	205
0,138	0,138	0,000666	207
	0,275	0,001237	222
	0,412	0,001809	228
Desvio Padrão $M_R$			52

CÁLCULOS AUXILIARES			
$\Theta$	LN $\epsilon_a$	LN $\sigma_3$	LN $\sigma_d$
0,08	-8,160218	-3,882447	-3,877622
0,10	-7,595915	-3,882447	-3,184474
0,12	-7,221234	-3,882447	-2,779009
0,14	-7,950261	-3,371621	-3,366796
0,17	-7,211662	-3,371621	-2,675099
0,21	-6,851659	-3,371621	-2,273998
0,20	-7,528321	-2,966156	-2,987764
0,26	-6,897013	-2,966156	-2,273998
0,31	-6,572284	-2,966156	-1,863041
0,27	-7,216429	-2,678474	-2,675099
0,34	-6,648859	-2,678474	-1,981226
0,41	-6,488782	-2,678474	-1,576003
0,41	-7,290906	-2,273009	-2,273998
0,52	-6,664339	-2,273009	-1,576003
0,62	-6,495778	-2,273009	-1,174414
0,55	-7,313500	-1,985327	-1,981226
0,69	-6,695147	-1,985327	-1,292076
0,82	-6,315258	-1,985327	-0,886732
Erro Percentual Médio			-2,26

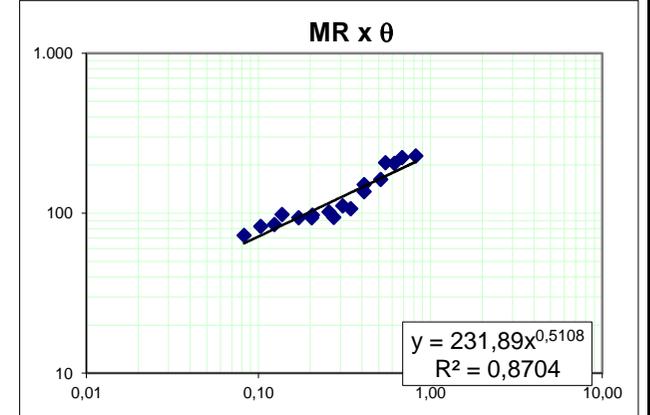
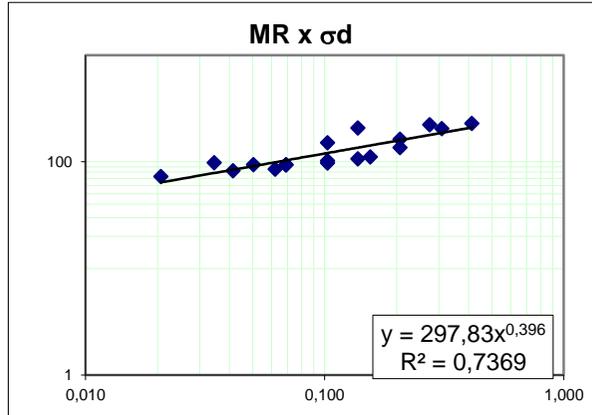
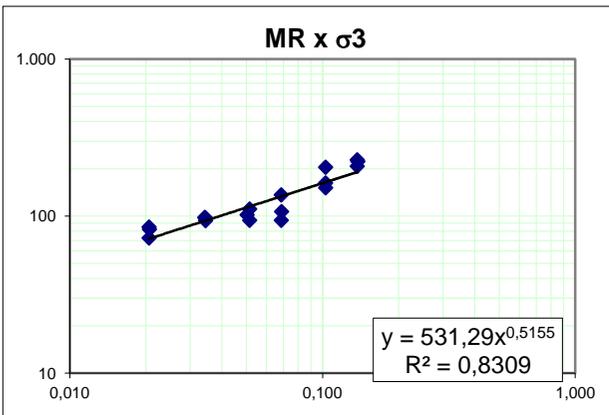
### ESTATÍSTICA

COEF. REGRESSÃO	
INTERC.	-6,178762
b1	-0,355583
b2	0,840375

$k_1$	0,002073
$k_2$	-0,355583
$k_3$	0,840375
$R^2 =$	0,173283

$M_R = K_1 \sigma_3^{k_2} \sigma_d^{k_3}$	
onde	
$K_1 = 1/k_1$	482
$K_2 = -k_2$	0,3556
$K_3 = 1-k_3$	0,1596

MODELO COMPOSTO - (MACEDO, 1996)			
MR Calc.	ERRO (MPa)	ERRO (%)	Resíduo Padronizado
65	7	9,82	0,14
73	9	11,44	0,18
78	7	8,39	0,14
85	13	13,15	0,25
95	-2	1,64	-0,03
101	-4	4,00	-0,07
104	-11	11,25	-0,20
117	-15	14,80	-0,29
125	-14	12,46	-0,26
121	-28	29,43	-0,53
136	-29	27,44	-0,56
145	-9	6,40	-0,17
150	1	0,93	0,03
167	-5	3,11	-0,10
178	26	12,92	0,51
174	33	16,11	0,64
194	28	12,76	0,54
207	21	9,27	0,40



**RELATÓRIO FOTOGRÁFICO - MÓDULO DE RESILIÊNCIA**

Cliente: **Eleonardo Lucas Pereira**

Local: **-**

Obra: **Via 040**

Amostra: **Deformada**

Furo: **70% Solo Laterítico - 30% Rejeito Grosso**

Registro: **2018.12345**



**Antes**



**Depois**

OBSERVAÇÕES:

	<b>RELATÓRIO Nº PAT-RT-LAB-1947.18-001</b> <b>ENSAIOS DE LABORATÓRIO</b>	
CLIENTE:	ELEONARDO LUCAS PEREIRA	Revisão Nº  00
PROJETO:	VIA 040	
LOCAL:	-	

## **REGISTRO 12346**

**80% Solo Laterítico - 20% Rejeito Grosso (A-1-b)**

## ENSAIO TRIAXIAL DINÂMICO

Obra: <b>Via 040</b>	Amostra: <b>80% Solo Laterítico + 20% Rejeito Grosso</b>	Dimens. C.P. <b>7,12 X 14,45 cm</b>	Triaxial <b>Wemerson</b>
Interessado: <b>Eleonardo Lucas Pereira</b>		Peso C.P. (g) <b>1455,88</b>	Análise: <b>Fernando</b>
Camada: <b>-</b>	Localização: <b>-</b>	Umidade (%) <b>14,99</b>	Data: <b>03/05/2018</b>
Material: <b>Solo e Rejeit Unidades: MPA</b>	Energia: <b>INTERMEDIÁRIO</b>	M.E.A.S <b>2,200</b>	Reg.: <b>2018.12346</b>

DADOS DO ENSAIO TRIAXIAL DINÂMICO			
$\sigma_3$	$\sigma_d$	$\epsilon_a$	MR
(MPa)	(MPa)		(MPa)
0,021	0,021	0,000286	72
	0,041	0,000351	118
	0,062	0,000429	145
0,035	0,035	0,000271	128
	0,069	0,000768	90
	0,103	0,000353	292
0,050	0,050	0,000736	69
	0,103	0,001007	102
	0,155	0,000575	270
0,069	0,069	0,000921	75
	0,138	0,001178	117
	0,207	0,000570	363
0,103	0,103	0,000111	927
	0,207	0,001580	131
	0,309	0,001510	205
0,138	0,138	0,000724	191
	0,275	0,001366	201
	0,412	0,001969	209
Desvio Padrão $M_R$			198

CÁLCULOS AUXILIARES			
$\Theta$	LN	LN	LN
	$\epsilon_a$	$\sigma_3$	$\sigma_d$
0,08	-8,160218	-3,882447	-3,877622
0,10	-7,953585	-3,882447	-3,184474
0,12	-7,754753	-3,882447	-2,779009
0,14	-8,214943	-3,371621	-3,366796
0,17	-7,171213	-3,371621	-2,675099
0,21	-7,950261	-3,371621	-2,273998
0,20	-7,214838	-2,966156	-2,987764
0,26	-6,900482	-2,966156	-2,273998
0,31	-7,460932	-2,966156	-1,863041
0,27	-6,990420	-2,678474	-2,675099
0,34	-6,743683	-2,678474	-1,981226
0,41	-7,469120	-2,678474	-1,576003
0,41	-9,105620	-2,273009	-2,273998
0,52	-6,450267	-2,273009	-1,576003
0,62	-6,495778	-2,273009	-1,174414
0,55	-7,230885	-1,985327	-1,981226
0,69	-6,596015	-1,985327	-1,292076
0,82	-6,230229	-1,985327	-0,886732
Erro Percentual Médio			-2,26

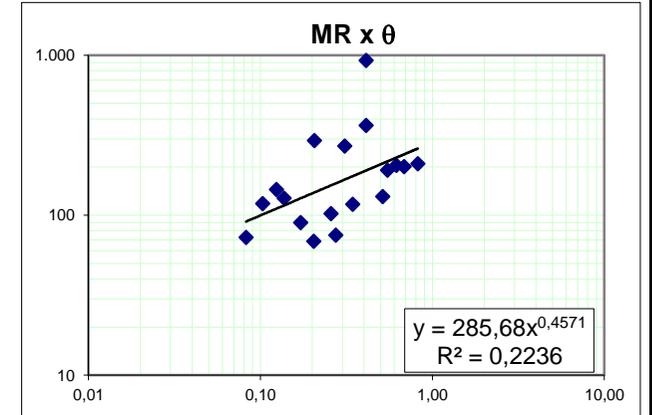
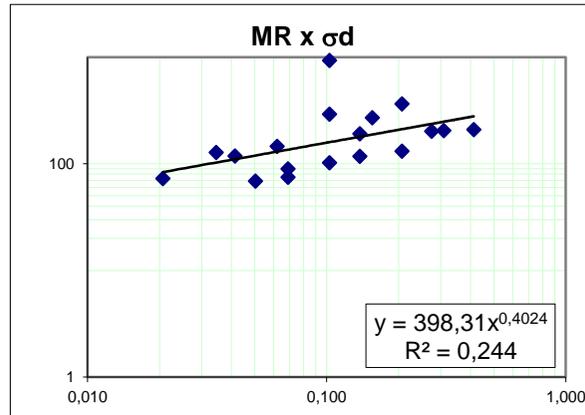
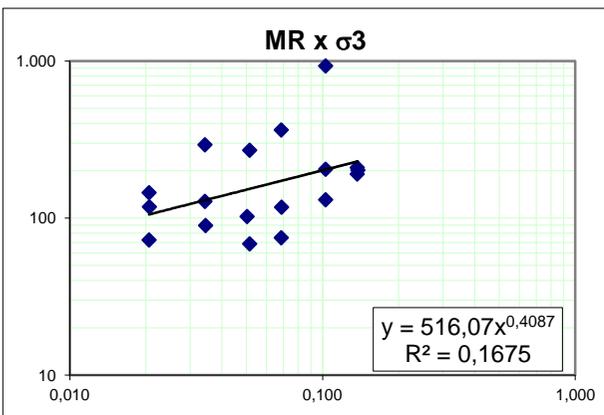
### ESTATÍSTICA

COEF. REGRESSÃO	
INTERC.	-6,011211
b1	-0,017675
b2	0,609388

$k_1$	0,002451
$k_2$	-0,017675
$k_3$	0,609388
$R^2 =$	0,173283

$M_R = K_1 \sigma_3^{k_2} \sigma_d^{k_3}$	
onde	
$K_1 = 1/k_1$	408
$K_2 = -k_2$	0,0177
$K_3 = 1-k_3$	0,3906

MODELO COMPOSTO - (MACEDO, 1996)			
MR Calc.	ERRO	ERRO	Resíduo
(MPa)	(MPa)	(%)	Padronizado
84	-11	15,64	-0,06
110	8	6,80	0,04
129	16	11,19	0,08
103	24	19,07	0,12
135	-46	50,77	-0,23
158	134	45,82	0,68
121	-52	75,88	-0,26
159	-57	55,90	-0,29
187	83	30,71	0,42
137	-62	82,87	-0,31
179	-62	53,35	-0,32
210	152	42,01	0,77
161	765	82,60	3,87
212	-81	61,80	-0,41
248	-43	21,04	-0,22
182	9	4,63	0,04
238	-37	18,23	-0,19
279	-69	33,14	-0,35



**RELATÓRIO FOTOGRÁFICO - MÓDULO DE RESILIÊNCIA**

Cliente:	Eleonardo Lucas Pereira	Local:	-
Obra:	Via 040	Amostra:	Deformada
Furo:	80% Solo Laterítico - 20% Rejeito Grosso	Registro:	2018.12346



**Antes**



**Depois**

OBSERVAÇÕES:

	<b>RELATÓRIO Nº PAT-RT-LAB-1947.18-001</b> <b>ENSAIOS DE LABORATÓRIO</b>	
CLIENTE:	ELEONARDO LUCAS PEREIRA	Revisão Nº  00
PROJETO:	VIA 040	
LOCAL:	-	

## **REGISTRO 12347**

**90% Solo Laterítico - 10% Rejeito Grosso (A-1-b)**

## ENSAIO TRIAXIAL DINÂMICO

Obra: <b>Via 040</b>	Amostra: <b>90% Solo Laterítico + 10% Rejeito Grosso</b>	Dimens. C.P. <b>7,12 X 14,45 cm</b>	Triaxial <b>Wemerson</b>
Interessado: <b>Eleonardo Lucas Pereira</b>		Peso C.P. (g) <b>1434,7</b>	Análise: <b>Fernando</b>
Camada: <b>-</b>	Localização: <b>-</b>	Umidade (%) <b>16,48</b>	Data: <b>28/04/2018</b>
Material: <b>Solo e Rejeit</b> Unidades: <b>MPa</b>	Energia: <b>INTERMEDIÁRIO</b>	M.E.A.S <b>2,140</b>	Reg.: <b>2018.12347</b>

DADOS DO ENSAIO TRIAXIAL DINÂMICO			
$\sigma_3$	$\sigma_d$	$\epsilon_a$	MR
(MPa)	(MPa)		(MPa)
0,021	0,021	0,000205	101
	0,041	0,000279	149
	0,062	0,000533	117
0,035	0,035	0,000220	157
	0,069	0,000582	118
	0,103	0,000750	137
0,050	0,050	0,000432	117
	0,103	0,000607	170
	0,155	0,000809	192
0,069	0,069	0,000388	178
	0,138	0,000627	220
	0,207	0,000869	238
0,103	0,103	0,000508	202
	0,207	0,000709	292
	0,309	0,000935	331
0,138	0,138	0,000445	310
	0,275	0,000726	378
	0,412	0,001253	329
Desvio Padrão $M_R$			86

CÁLCULOS AUXILIARES			
$\Theta$	LN	LN	LN
	$\epsilon_a$	$\sigma_3$	$\sigma_d$
0,08	-8,492598	-3,882447	-3,877622
0,10	-8,185123	-3,882447	-3,184474
0,12	-7,537083	-3,882447	-2,779009
0,14	-8,420929	-3,371621	-3,366796
0,17	-7,448782	-3,371621	-2,675099
0,21	-7,195904	-3,371621	-2,273998
0,20	-7,746576	-2,966156	-2,987764
0,26	-7,407410	-2,966156	-2,273998
0,31	-7,119242	-2,966156	-1,863041
0,27	-7,855253	-2,678474	-2,675099
0,34	-7,375106	-2,678474	-1,981226
0,41	-7,048029	-2,678474	-1,576003
0,41	-7,584340	-2,273009	-2,273998
0,52	-7,252149	-2,273009	-1,576003
0,62	-6,975274	-2,273009	-1,174414
0,55	-7,717212	-1,985327	-1,981226
0,69	-7,227658	-1,985327	-1,292076
0,82	-6,681975	-1,985327	-0,886732
Erro Percentual Médio			-2,26

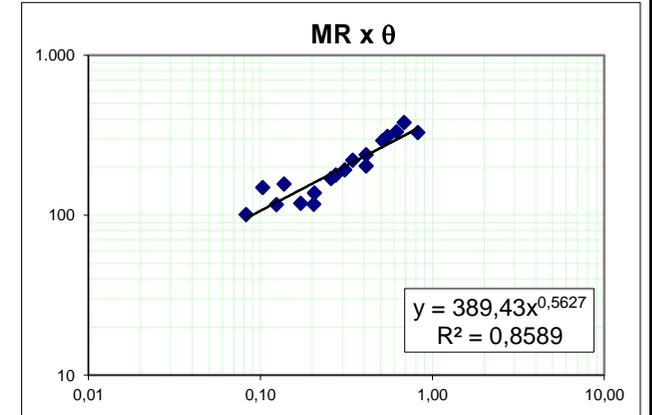
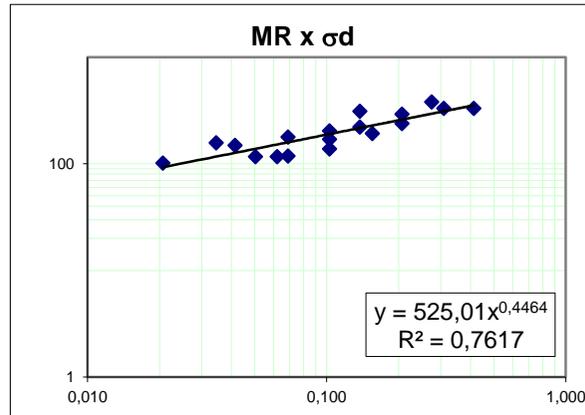
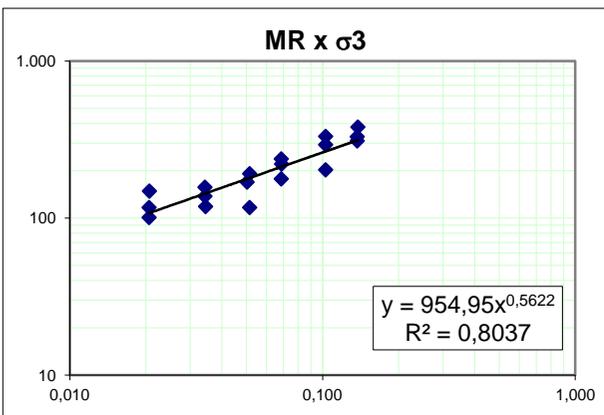
### ESTATÍSTICA

COEF. REGRESSÃO	
INTERC.	-6,730996
b1	-0,344768
b2	0,782787

$k_1$	0,001193
$k_2$	-0,344768
$k_3$	0,782787
$R^2 =$	0,173283

$M_R = K_1 \sigma_3^{k_2} \sigma_d^{k_3}$	
onde	
$K_1 = 1/k_1$	838
$K_2 = -k_2$	0,3448
$K_3 = 1-k_3$	0,2172

MODELO COMPOSTO - (MACEDO, 1996)			
MR Calc.	ERRO	ERRO	Resíduo
(MPa)	(MPa)	(%)	Padronizado
95	6	6,27	0,07
110	38	25,91	0,45
120	-4	3,12	-0,04
126	31	19,50	0,35
147	-28	23,84	-0,33
160	-23	16,50	-0,26
157	-41	35,06	-0,47
184	-14	8,44	-0,17
201	-9	4,86	-0,11
186	-8	4,74	-0,10
216	4	1,65	0,04
236	2	0,68	0,02
234	-31	15,38	-0,36
272	20	6,87	0,23
297	34	10,29	0,39
275	35	11,29	0,40
319	59	15,61	0,68
349	-20	6,04	-0,23



**RELATÓRIO FOTOGRÁFICO - MÓDULO DE RESILIÊNCIA**

Cliente:	Eleonardo Lucas Pereira	Local:	-
Obra:	Via 040	Amostra:	Deformada
Furo:	90% Solo Laterítico - 10% Rejeito Grosso	Registro:	2018.12347



Antes



Depois

OBSERVAÇÕES:



RELATÓRIO Nº PAT-RT-LAB-1947.18-001

ENSAIOS DE LABORATÓRIO

CLIENTE: ELEONARDO LUCAS PEREIRA

Revisão Nº

PROJETO: VIA 040

00

LOCAL: -

**REGISTRO 12348**  
**100% Solo Laterítico**

## ENSAIO TRIAXIAL DINÂMICO

Obra: <b>Via 040</b>	Amostra: <b>100% Solo Laterítico</b>	Dimens. C.P. <b>7,12 X 14,45 cm</b>	Triaxial <b>Wemerson</b>
Interessado: <b>Eleonardo Lucas Pereira</b>	Jazida: <b>-</b>	Peso C.P. (g) <b>1465,5</b>	Análise: <b>Fernando</b>
Camada: <b>-</b>	Localização: <b>-</b>	Umidade (%) <b>18,99</b>	Data: <b>28/04/2018</b>
Material: <b>Solo</b> Unidades: <b>MPa</b>	Energia: <b>INTERMEDIÁRIO</b>	M.E.A.S <b>2,140</b>	Reg.: <b>2018.12349</b>

DADOS DO ENSAIO TRIAXIAL DINÂMICO			
$\sigma_3$	$\sigma_d$	$\epsilon_a$	MR
(MPa)	(MPa)		(MPa)
0,021	0,021	0,000436	48
	0,041	0,000223	186
	0,062	0,000522	119
0,035	0,035	0,000205	168
	0,069	0,000463	149
	0,103	0,000515	200
0,050	0,050	0,000216	234
	0,103	0,000390	264
	0,155	0,000750	207
0,069	0,069	0,000319	216
	0,138	0,000642	215
	0,207	0,000960	215
0,103	0,103	0,000553	186
	0,207	0,000904	229
	0,309	0,001397	221
0,138	0,138	0,000600	230
	0,275	0,001262	218
	0,412	0,001600	258
Desvio Padrão $M_R$			52

CÁLCULOS AUXILIARES			
$\Theta$	LN	LN	LN
	$\epsilon_a$	$\sigma_3$	$\sigma_d$
0,08	-7,738488	-3,882447	-3,877622
0,10	-8,410359	-3,882447	-3,184474
0,12	-7,557058	-3,882447	-2,779009
0,14	-8,492598	-3,371621	-3,366796
0,17	-7,678497	-3,371621	-2,675099
0,21	-7,570606	-3,371621	-2,273998
0,20	-8,442457	-2,966156	-2,987764
0,26	-7,849236	-2,966156	-2,273998
0,31	-7,195904	-2,966156	-1,863041
0,27	-8,051574	-2,678474	-2,675099
0,34	-7,351109	-2,678474	-1,981226
0,41	-6,948077	-2,678474	-1,576003
0,41	-7,500406	-2,273009	-2,273998
0,52	-7,008394	-2,273009	-1,576003
0,62	-6,573142	-2,273009	-1,174414
0,55	-7,419048	-1,985327	-1,981226
0,69	-6,675454	-1,985327	-1,292076
0,82	-6,437752	-1,985327	-0,886732
Erro Percentual Médio			-2,26

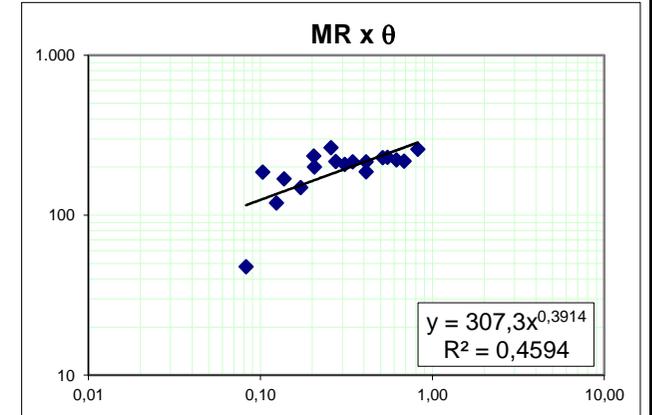
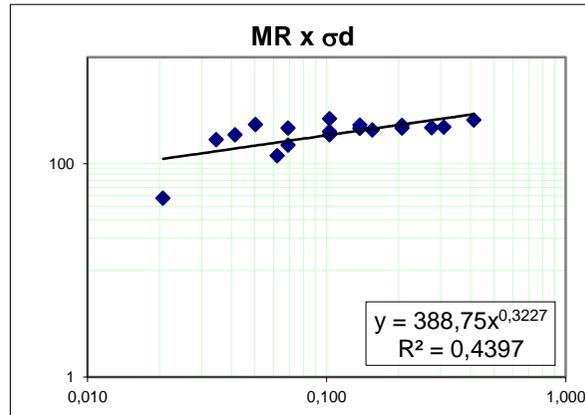
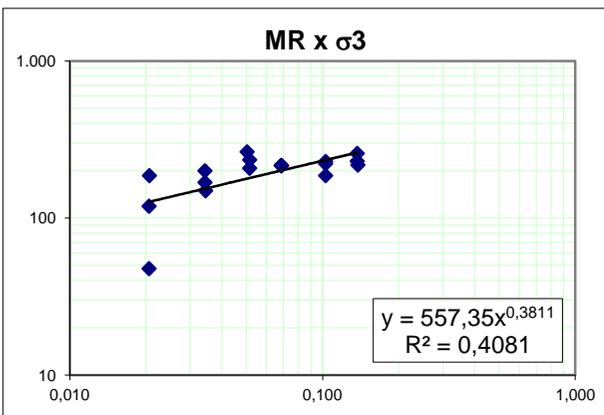
### ESTATÍSTICA

COEF. REGRESSÃO	
INTERC.	-6,204051
b1	-0,177777
b2	0,795547

$k_1$	0,002021
$k_2$	-0,177777
$k_3$	0,795547
$R^2 =$	0,173283

$M_R = K_1 \sigma_3^{k_2} \sigma_d^{k_3}$	
onde	
$K_1 = 1/k_1$	495
$K_2 = -k_2$	0,1778
$K_3 = 1-k_3$	0,2045

MODELO COMPOSTO - (MACEDO, 1996)			
MR Calc.	ERRO	ERRO	Resíduo
(MPa)	(MPa)	(%)	Padronizado
112	-65	136,36	-1,25
129	57	30,45	1,09
141	-22	18,25	-0,42
136	32	18,90	0,61
157	-8	5,58	-0,16
171	29	14,52	0,56
159	75	32,21	1,46
183	80	30,47	1,55
200	8	3,64	0,15
178	38	17,76	0,74
205	10	4,60	0,19
223	-7	3,42	-0,14
207	-21	11,47	-0,41
239	-11	4,64	-0,21
260	-39	17,48	-0,75
232	-2	0,82	-0,04
267	-49	22,58	-0,95
290	-32	12,61	-0,63



**RELATÓRIO FOTOGRÁFICO - MÓDULO DE RESILIÊNCIA**

Cliente: Eleonardo Lucas Pereira

Local: -

Obra: Via 040

Amostra: Deformada

Furo: 100% Solo Laterítico

Registro: 2018.12348



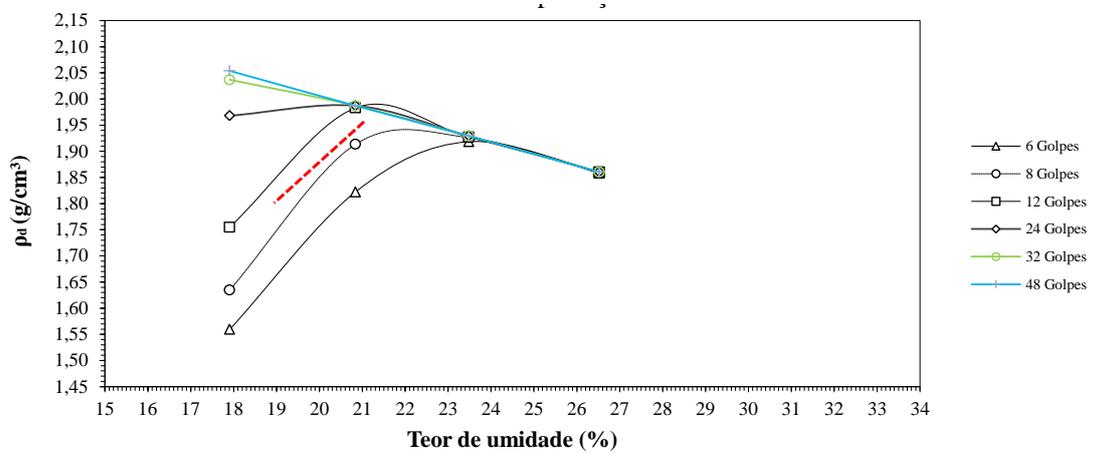
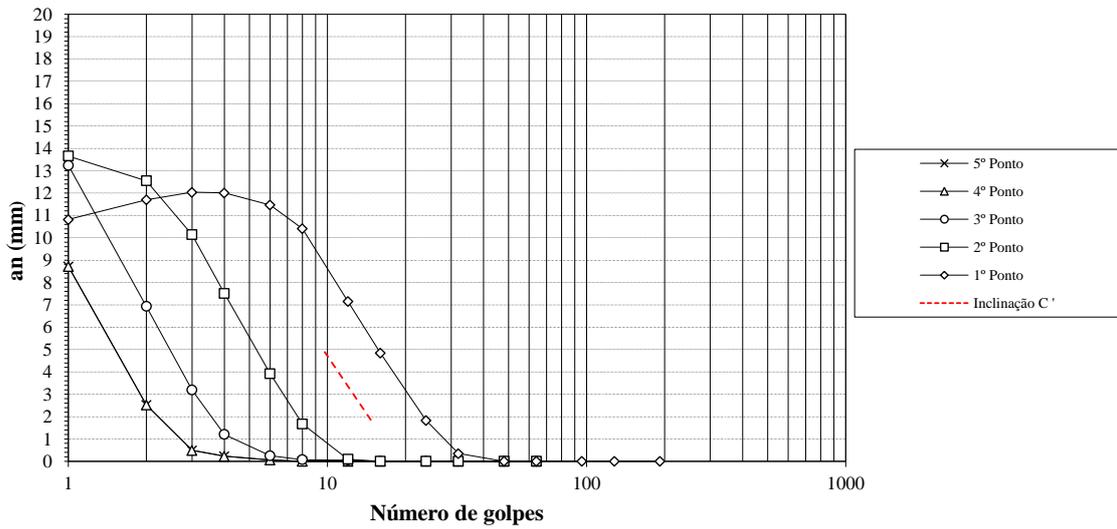
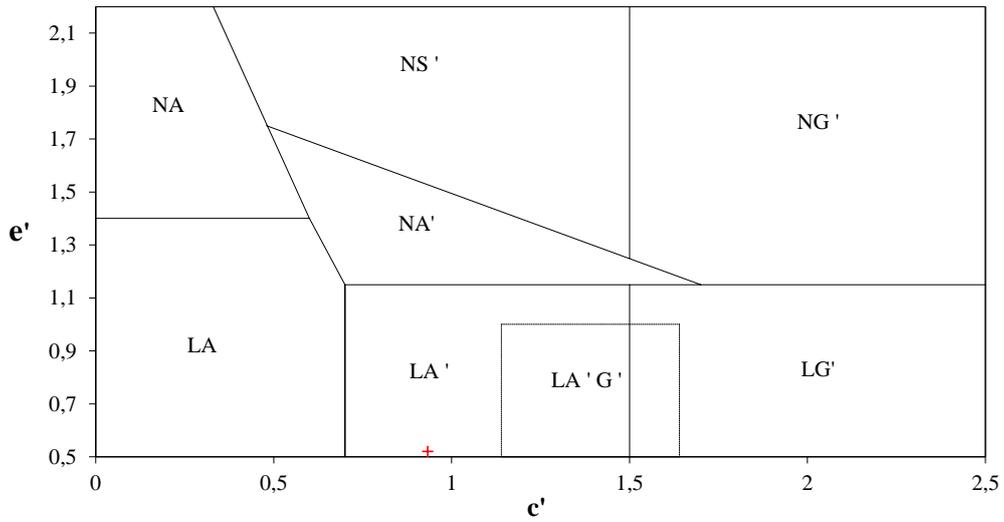
Antes



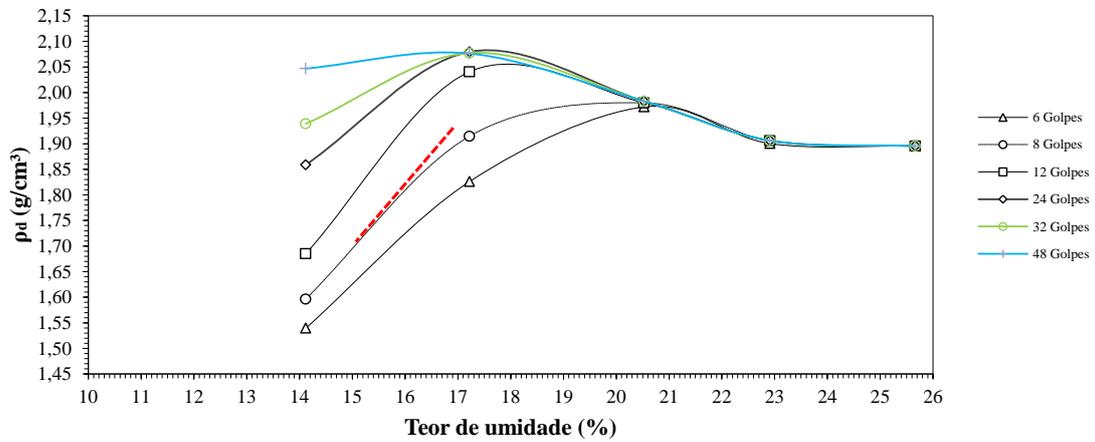
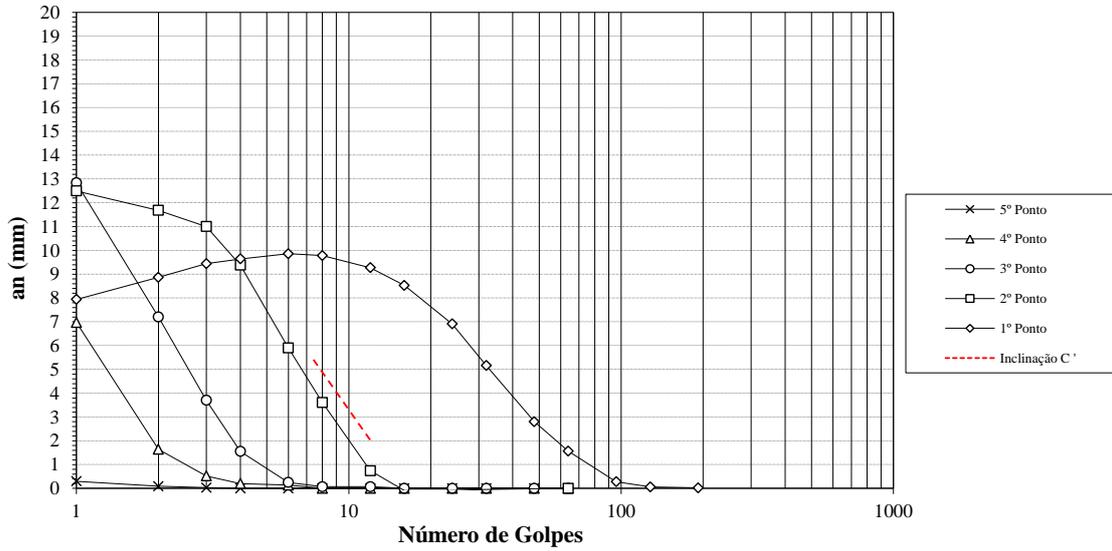
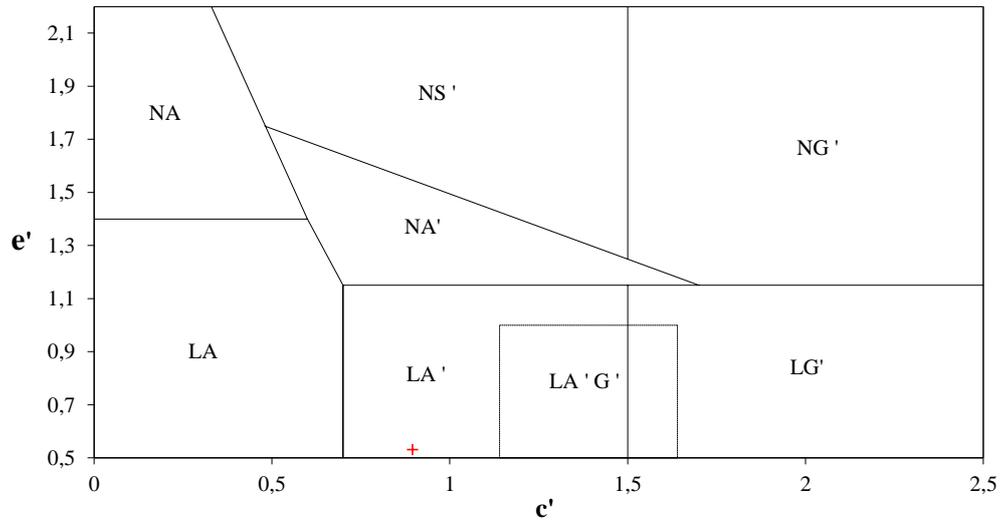
Depois

OBSERVAÇÕES:

# CLASSIFICAÇÃO MCT (SOLO S1)



# CLASSIFICAÇÃO MCT (MISTURA M9010)



## CLASSIFICAÇÃO MCT (MISTURA M8020)

