



## **Caracterização, compactação e CBR (ISC), pelo Método DIRENG-ME-01/87, realizado em Latossolo típico do Centro-Oeste Brasileiro para uma área no Aeroporto Internacional Presidente Juscelino Kubitschek, Brasília / Distrito Federal**

### **Characterization, compaction and CBR (ISC), by the DIRENG-ME-01/87 Method, carried out on typical Latosol from the Brazilian Midwest for an area at the Presidente Juscelino Kubitschek International Airport, Brasília / Distrito Federal**

10.56238/isevmjv3n2-020

Recebimento dos originais: 22/02/2024

Aceitação para publicação: 12/03/2024

#### **Rideci Farias**

Universidade Católica de Brasília (UCB)  
UniCEUB, Brasília/DF, Brasil  
E-mail: rideci.farias@gmail.com

#### **Haroldo Paranhos**

M. Sc.  
UCB / Reforsolo Engenharia, Brasília/DF, Brasil  
E-mail: reforsolo@gmail.com

#### **Denilson João da Costa**

UniCEUB, Brasília/DF, Brasil  
E-mail: denilson.costa@sempreceub.com

#### **RESUMO**

Este trabalho apresenta estudos geotécnicos de campo e de laboratório, com ênfase aos ensaios de compactação segundo recomendações do Método de Ensaio para Obras de Infraestrutura Aeroportuária (Método AASHTO) e ensaios de Índice de Suporte Califórnia (ISC ou CBR), objetivando a determinação do CBR pelo método DIRENG-ME-01/87 para o material de subleito que considera no dimensionamento do pavimento o CBR correspondente a 95% da massa específica seca compactada na energia Proctor Modificado, resultante da composição no gráfico das três energias de compactação (normal, intermediária e modificada). O estudo envolveu um amplo levantamento bibliográfico, trabalhos de campo e de laboratório com a execução de ensaios geotécnicos, mas também os devidos tratamentos dos resultados obtidos. Os estudos mostraram que os solos apresentam características táteis visuais com predominância de latossolo tipo argila areno-siltosa a argila silto-arenosa, vermelha. Ademais, a classificação pelo Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS) mostraram a predominância de silte de baixa plasticidade (ML), mas também pela TRB (HRB) predominância de solos argilosos (A-7-5). Os valores de CBR pelo método DIRENG-ME-01/87 para as 18 amostras estudadas comportaram-se de 8,1% a 9,0%, com valor médio de 8,7%, este representando 61% do valor médio do CBR da energia modificada que foi de 14%.

**Palavras-chave:** Distrito Federal, Aeroporto Juscelino Kubitschek, Ensaio, Solo, Método DIRENG.



## 1 INTRODUÇÃO

O Distrito Federal, em maioria, possui geologia/geomorfologia típica que é caracterizada por uma camada de latossolos e solos lateríticos vermelhos argilosos, denominados de argila porosa e colapsível. Nesse contexto, apresenta-se os resultados e análises de estudos geotécnicos executados em latossolo típico para uma área do Aeroporto Internacional de Brasília “Presidente Juscelino Kubitschek”, no Distrito Federal. Os estudos consistiram na execução de trabalhos de campo e de laboratório. Na parte de campo foram executadas sondagens a trado (82 unidades) com vistas à identificação tátil-visual, adicionados a 18 poços de inspeção para coleta de solos objetivando os ensaios em laboratório. Adicionalmente aos trabalhos de campo foram realizadas densidades “in situ”.

Os poços de inspeção foram executados com auxílio de uma retroescavadeira até a profundidade aproximada de 2 (dois) metros, já as sondagens a trado foram executadas com trado cavadeira de 6 (seis) polegadas até a profundidade de 1,5 metros. Na parte de laboratório, com os solos coletados nos poços de inspeção, foram executados teor de umidade natural, limites de liquidez, plasticidade e de contração, granulometria, massa específica dos grãos dos solos, ensaios de compactação segundo recomendações do Método de Ensaio para Obras de Infraestrutura Aeroportuária (Método AASHTO), Ensaio de Índice de Suporte Califórnia (ISC ou CBR), visando a determinação do CBR pelo método DIRENG-ME-01/87 para o material de subleito que considera no dimensionamento do pavimento o CBR correspondente a 95% da massa específica seca compactada na energia Proctor Modificado, resultante da composição no gráfico das três energias de compactação (normal, intermediária e modificada).

Dentre outras constatações, verificou-se que os solos locais apresentam características táteis visuais semelhantes com a predominância de latossolo tipo argila areno-siltosa / silto-arenosa, vermelha. Com os resultados dos ensaios de laboratório foi possível também a classificação pelo Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS) que mostraram a predominância de silte de baixa plasticidade (ML), mas também pela TRB (HRB) com predominância de solos argilosos (A-7-5). Os valores de CBR pelo método DIRENG-ME-01/87 para as 18 amostras estudadas comportaram-se de 8,1% a 9,0%, com valor médio de 8,7%, este representando 61% do valor médio do CBR da energia modificada que foi de 14%.

## 2 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Para o desenvolvimento deste trabalho procurou-se um amplo levantamento bibliográfico que pudesse representar mais fielmente o conhecimento sobre a região de implantação do

empreendimento. A seguir, apresenta-se, de forma geral, questões geológico-geotécnicas relativas à região e área estudada.

## 2.1 GEOLOGIA/ GEOTECNIA DO DISTRITO FEDERAL

No Distrito Federal (DF) as sequências de rochas estão inseridas nas faixas de dobramentos Brasília. Do ponto de vista regional, a área do DF é composta por rochas metassedimentares que inclui os grupos Paranoá, Canastra, Araxá e Bambuí e as respectivas coberturas de solos residuais ou coluvionares (FREITAS-SILVA; CAMPOS, 1998). As Figuras 1 e 2 mostram, respectivamente, os mapas geológico geral e de solos do Distrito Federal.

O Grupo Paranoá ocupa a maior área no Distrito Federal e concentra o maior número de centros urbanos (o Plano Piloto e todas as Cidades Satélites, com exceção de São Sebastião e Vale do Amanhecer). É a unidade mais importante, com aproximadamente 65% do território. Apresenta-se dividido em seis unidades, conforme coluna estratigráfica, correlacionáveis da base para o topo em metassiltito argiloso, ardósia, metarritmito arenoso, quartzito médio, metarritmito argiloso e litologias psamo-pelito-carbonatada.

O grupo Canastra abrange cerca de 15% do espaço total do DF e é subdividido em três formações que são Paracatu, Serra do Landin e Serra dos Pilões. Esse grupo é constituído por rochas metamórficas de baixo grau, clorita, filitos carbonosos, mármore finos e majoritariamente por filitos com lentes de quartzitos. O grupo Araxá ocupa uma pequena parte do solo do DF, cerca de 5%. É representado por muscovita xistos, quartzo-muscovita xistos e singulares lentes de quartzitos micáceos. Finalmente, o grupo Bambuí cobre 15% da extensão do DF, que é constituído por metassiltitos, metassiltitos argilosos, metaargilitos e raras intercalações de arcóseos (FREITAS-SILVA & DARDENNE, 1994).

Figura 1. Geologia geral do Distrito Federal (CODEPLAN, 2017).

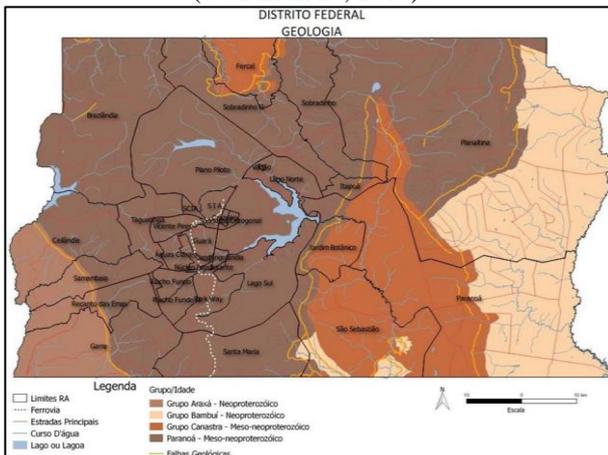
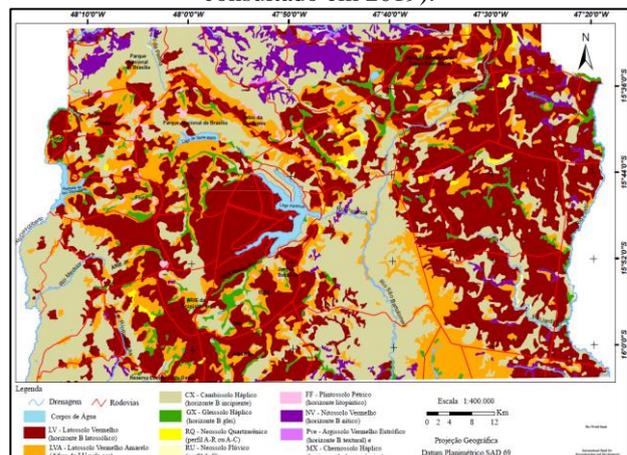


Figura 2. Mapa de solos do Distrito Federal (ADASA, consultado em 2019).





## 2.2 SOLOS DO DISTRITO FEDERAL

A maior parte dos solos do Distrito Federal são caracterizados por solos porosos com espessura que chega a ser superior a 10 metros. Mediante aos diversos processos ocorridos na sua gênese, essa cobertura apresenta características peculiares e comportamento geotécnico distinto. Esse solo é muito suscetível à erosão, sendo comum o aparecimento de voçorocas em assentamentos urbanos, rodovias e áreas de empréstimo.

Dentre as classes de solos que ocorrem no DF e na área em estudo, as principais são apresentadas e descritas em trabalho de reclassificação dos solos da Embrapa (2004) em que se têm os latossolos e os cambissolos com soma aproximada de 85,48%.

### 2.2.1 Latossolos

São solos altamente intemperizados, chamados popularmente de solos velhos, resultantes da remoção de sílica e de bases trocáveis do perfil. Em razão disso, aglomeram minerais secundários do grupo caulinita, óxidos, hidróxidos e oxi-hidróxidos de Fe e Al como hematita, goetita, gibbisita e outros. O quartzo por ser bastante resistente ao intemperismo, persiste como mineral residual no perfil de alteração. Abrangem cerca de 54,5% da área do Distrito Federal e compreendem os latossolos vermelhos, com 38,92% de área, e os latossolos vermelhos-amarelos, com 15,58%. Contêm teor reduzido de silte que fica compreendido entre 10% e 20% e argila, variando entre 15% e 80%. Podem ser excessivamente drenados, conforme a natureza da textura, da estrutura e da situação topográfica. Em decorrência da composição, é um solo que contém uma elevada permeabilidade de água.

### 2.2.2 Cambissolos

São solos que apontam horizonte subsuperficial sujeito a pouca alteração física e química, considerado um solo novo, no entanto suficiente para o desenvolvimento de cor e estrutura. Em geral, apresentam minerais primários facilmente intemperizáveis, teores mais elevados de silte, indicando baixo grau de intemperização. Correspondem próximo de 30,98% da área do DF. Geralmente, estão associados a relevos mais movimentados (ondulados e forte ondulados) que variam desde rasos a profundos, atingindo, em maioria, de 0,2 m a 1 metro. São solos de coloração bruno-amarelada no horizonte superficial e vermelho-amarelada no superficial. A estrutura é bastante variável, predominando blocos subangulares. Possuem textura variada, desde muito argilosa até franco-arenosa, com cascalho ou sem cascalho.

### 3 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE EXECUÇÃO DOS ESTUDOS

A área para desenvolvimento dos estudos é constituída de latossolo típico da região Centro-Oeste do Brasil e localiza-se nas dependências do Aeroporto Internacional de Brasília “Presidente Juscelino Kubitschek”, no Distrito Federal, e destina-se a um conjunto de obras que estão em andamento na atualidade. As Figuras 3 a 5 mostram visões macro e micro das áreas de execução dos estudos.

Figura 3. Visão macro da área de execução dos estudos.



Figura 4. Visão macro da área de execução dos estudos.



Figura 5. Visão micro da área de execução dos estudos.



### 4 METODOLOGIA DO TRABALHO

A metodologia envolveu um amplo levantamento bibliográfico, trabalhos de campo e de laboratório com a execução de ensaios geotécnicos, mas também os devidos tratamentos dos resultados obtidos. Na parte de campo foram executados poços de inspeção com auxílio de uma retroescavadeira até a profundidade de 2 (dois) metros, já as sondagens a trado foram executadas com trado cavadeira de 15 cm de diâmetro até a profundidade de 1,5 metros. Na parte de laboratório, com os solos coletados nos poços de inspeção, foram executados os ensaios geotécnicos como mostra a Tabela 1 com o respectivo quantitativo de cada ensaio.

As Figuras 6 e 7 apresentam a locação dos poços de inspeção e sondagens a trado realizadas. Essas Figuras ilustram uma grade retangular com a locação dos pontos estudados. Cada ponto locado corresponde ao cruzamento de um número e uma letra, conforme exemplo: cruzando-se a linha vertical número “8” com a linha horizontal “D” tem-se o ponto estudado “8D”. Onde não foi possível o estudo por interferências diversas, procurava-se o ponto mais próximo possível. As respectivas amostras de solo para os ensaios de laboratório foram coletadas nos seguintes pontos: 2B, 2D, 2F, 3C, 3E, 5B, 5D, 5F, 7B, 7D, 8C, 8E, 9D, 10B, 10G, 10H, 13C e 14E. As Figuras 8 e 9 apresentam, respectivamente, vistas de um dos poços de inspeção e amostras coletadas para execução de ensaios em laboratório.

Tabela 1. Resumo dos estudos realizado.

Item	Serviço / Estudo	Quantidade
1	Sondagens a trado até 1,5 m	82
2	Poços (trincheiras) de inspeção para coleta de solo	18
3	Teor de umidade a 0,5m; 1,0m e 1,5m nos locais de aberturas das trincheiras	18
4	Massa específica natural “in situ” a 0,5m; 1,0m e 1,5m nas trincheiras	18
5	Limite de liquidez	18
6	Limite de plasticidade	18
7	Limite de contração	18
8	Granulometria (peneiramento e sedimentação)	18
9	Densidade real dos grãos	18
10	Compactação (AASHTO). Conjunto (normal, intermediária e modificada)	18
11	CBR (ISC). Amostras das trincheiras (método DIRENG-ME-01/87) – Conjunto.	18

Figura 6. Visão micro da área de execução dos estudos.



Figura 7. Área com locação aproximada dos solos estudados.

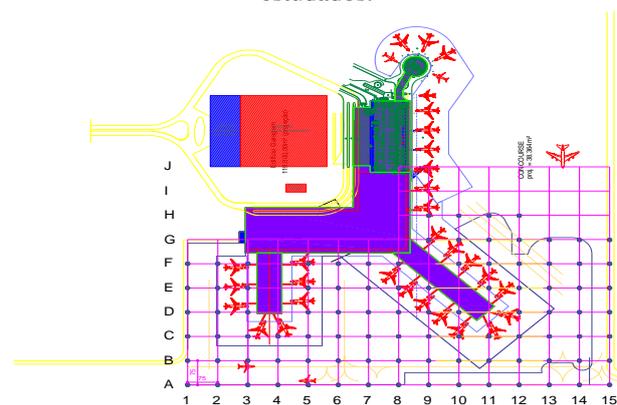


Figura 8. Trincheira de inspeção para execução de ensaio “in situ” e coleta de amostra de solo.



Figura 9. Amostras de solo para execução dos ensaios em laboratório.



## 5 RESULTADOS E ANÁLISES

Com a execução dos poços de inspeção e sondagens a trado, verificou-se que os solos apresentavam características táteis visuais semelhantes com a predominância de latossolo tipo argila areno-siltosa a argila silto-arenosa, vermelha, com exceção das proximidades do ponto classificado como C3 em que foi encontrado latossolo de coloração vermelho-amarelo. Ressalte-se a existência em alguns locais de uma camada de aterro compactado com espessura aproximada de até 0,50 metro.

A Tabela 1 apresenta os resultados da caracterização para as 18 amostras de solos coletados. Em termos granulométricos, ensaios realizados por peneiramento e sedimentação, verifica-se certo equilíbrio de areia argilo-siltosa / argila areno-siltosa, com teores médios de 38,7% arenoso, 36,9% argiloso e 24,3% siltoso.

Para os limites de Atteberg, tem-se os valores médios com 48,7% de liquidez, 36,9% de plasticidade, e índice de plasticidade, próximo de 12%, enquadrando-se em material com plasticidade média.

Quanto ao Índice de Grupo (IG) o menor valor foi verificado para as amostras 10B e 14E correspondente a 3,9. O maior valor do IG foi observado para a amostra 5B, representando 10,2. A classificação pelo Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS) mostrou predominância siltosa de baixa plasticidade (ML), mas também pela TRB (HRB) com predominância de solos argilosos (A-7-5), indicativo de solo fraco a pobre para aplicação em subleito de pavimentos.

As Figuras 10 e 11 apresentam, respectivamente, os comportamentos granulométrico e do limite de liquidez para as dezoito amostras estudadas, ademais na Tabela 2 consolida-se os resultados de caracterização e classificação dessas amostras.

Tabela 2. Resultados da caracterização e classificação para as 18 amostras de solos.

Amostra	Granulometria (Peneiramento e sedimentação)				LL	LP	IP	Classificação do Solo		
	Pedregulho fino	Areia	Silte	Argila				IG	SUCS	TRB
2B	0,00	37,78	17,47	44,75	49,5	38,5	11,0	7,1	ML	A-7-5
2D	0,00	35,08	26,90	38,02	49,5	38,5	11,0	7,8	ML	A-7-5
2F	0,11	40,87	21,06	37,97	48,8	33,5	15,3	8,0	ML	A-7-5
3C	0,25	33,94	32,93	32,87	47,7	37,6	10,1	7,4	ML	A-7-5
3E	0,10	33,61	28,78	37,51	50,2	35,3	14,9	9,7	MH	A-7-5
5B	0,21	29,22	32,63	37,93	49,7	36,4	13,3	10,2	ML	A-7-5
5D	0,22	41,89	24,61	33,29	49,2	37,2	12,0	6,4	ML	A-7-5
5F	0,00	35,22	27,26	37,52	49,7	36,9	12,8	8,5	ML	A-7-5
7B	0,00	43,02	17,65	39,34	49,1	35,3	13,8	6,9	ML	A-7-5
7D	0,00	38,60	24,40	37,01	50,2	37,1	13,1	7,9	MH	A-7-5
8C	0,00	38,60	24,40	37,01	50,0	36,6	13,4	7,0	ML	A-7-5
8E	0,33	36,10	26,60	36,97	45,2	36,2	9,0	6,5	ML	A-5
9D	0,35	37,77	22,88	39,00	49,0	37,2	11,8	7,3	ML	A-7-5
10B	0,17	49,46	15,69	34,68	48,1	37,6	10,5	3,9	ML	A-7-5
10G	0,19	39,83	29,81	30,17	47,2	37,2	10,0	5,9	ML	A-5
10H	0,32	38,30	24,00	37,38	49,4	39,6	9,8	6,5	ML	A-5
13C	0,32	38,30	24,00	37,38	48,0	36,7	11,3	6,7	ML	A-7-5
14E	0,00	48,75	16,31	34,94	46,9	36,8	10,1	3,9	ML	A-7-5
Média	0,14	38,7	24,3	36,9	48,7	36,9	11,8	7,1		

Em consideração a energias de compactação, verificou-se para a energia normal o valor médio de 30,2% de umidade ótima, com variação de 27,55% a 31,91%. Massa específica seca média compactada de 13 kN/m<sup>3</sup>, variação de 12,38 kN/m<sup>3</sup> a 13,64 kN/m<sup>3</sup>, e para os valores de CBR, tem-se média de 7,5%, com variação de 7,05% a 8,10%.

Na energia intermediária, os valores médios de umidade ótima, massa específica seca compactada e CBR foram, respectivamente, 29,3%; 13,8 kN/m<sup>3</sup> e 8,2%. Já para a energia modificada os valores de umidade ótima, massa específica seca e CBR foram, respectivamente, de 28,7%; 14,9 kN/m<sup>3</sup> e 10%.

Os valores de CBR pelo método DIRENG-ME-01/87 para as 18 amostras estudadas comportaram-se de 8,1% a 9,0%, com valor médio de 8,7%, este representando 61% do valor médio do CBR da energia modificada que foi de 14,1%.

Tabela 3. Resultados das compactações e CBR Método DIRENG. [Wótima (%),  $\gamma_d$  (kN/m<sup>3</sup>); CBR (%)].

Solo	Energia Normal			Energia Intermediária			Energia Modificada				CBR (%) DIRENG
	Wótima	$\gamma_d$	CBR (%)	Wótima	$\gamma_d$	CBR (%)	Wótima	$\gamma_d$	CBR (%)	95% x $\gamma_d$ Modificado	
2B	31,20	13,50	7,35	30,30	14,00	8,00	29,50	14,80	10,15	14,06	8,20
2D	30,65	13,00	7,46	29,50	13,58	8,15	28,00	14,60	10,15	13,87	8,80
2F	31,22	13,08	7,41	30,80	13,82	8,50	30,40	14,70	10,15	13,97	8,80
3C	30,80	12,83	8,10	29,90	13,72	8,65	29,50	14,75	9,58	14,01	8,90
3E	30,73	13,26	7,90	29,15	13,86	8,35	28,40	14,90	9,77	14,16	8,70

5B	31,45	13,13	7,85	30,95	13,57	8,12	30,40	14,75	10,15	14,01	8,80
5D	31,91	12,95	7,22	30,85	13,84	7,80	30,50	14,88	9,96	14,14	8,35
5F	30,54	12,62	7,05	29,90	13,49	7,65	29,50	14,50	9,39	13,78	8,10
7B	30,50	13,17	7,05	29,62	13,62	7,70	29,20	14,80	9,77	14,06	8,45
7D	29,20	12,99	7,53	28,10	13,88	8,59	27,00	14,93	10,15	14,18	9,00
8C	29,30	13,64	7,68	28,15	14,42	8,32	27,50	15,50	10,34	14,73	8,80
8E	29,20	13,05	7,75	28,90	13,95	8,45	28,35	15,00	9,96	14,25	8,80
9D	31,60	12,70	7,95	31,10	13,58	8,75	30,40	14,60	10,15	13,87	9,10
10B	27,55	13,44	7,32	26,60	14,37	8,02	25,50	15,45	9,77	14,68	8,50
10G	30,65	12,38	7,20	29,90	13,25	7,99	29,60	14,40	9,77	13,68	8,60
10H	28,60	12,95	7,30	27,90	13,75	8,10	27,70	14,90	10,34	14,16	8,70
13C	28,60	12,95	7,30	27,90	13,75	8,10	27,70	14,90	10,34	14,16	8,70
14E	29,10	13,05	7,05	27,95	13,80	7,85	27,10	15,00	9,77	14,25	8,60
Média	30,2	13,0	7,5	29,3	13,8	8,2	28,7	14,9	10,0	14,1	8,7

A Figura 12 apresenta, para a Amostra 2B, as compactações na energia normal, intermediária e modificada, com resultados respectivos de umidade ótima (31,2%; 30,3% e 29,5%), massa específica seca (13,5 kN/m<sup>3</sup>; 14,0 kN/m<sup>3</sup> e 14,8 kN/m<sup>3</sup>), e CBR (7,3%; 8,0% e 10,1%). Verifica-se que o comportamento do solo se mostrou bastante semelhante nos ensaios executados com valores próximos para as três energias de compactação. Ademais, ressalte-se o pouco ganho no valor do CBR em todos os ensaios realizados. Este comportamento já foi verificado pelos autores em alguns solos estudados do Centro-Oeste. Tal ocorrência se deve principalmente pela imersão em água por 96 horas requeridas no processo.

A Figura 13 apresenta a composição dos valores de CBR para a Amostra 2B, com vistas à determinação do CBR pelo método DIRENG-ME-01/87 para o material de subleito. Esse método considera no dimensionamento do pavimento o CBR correspondente a 95% na energia Proctor Modificado, com composição do gráfico resultante das três energias de compactação (normal, intermediária e modificada). Nessa amostra o valor do CBR pelo método DIRENG-ME-01/87 foi de 8,2%, representando 80% do CBR da energia modificada que foi de 10,15%.

Figura 10. Compactação para a Amostra 2B.

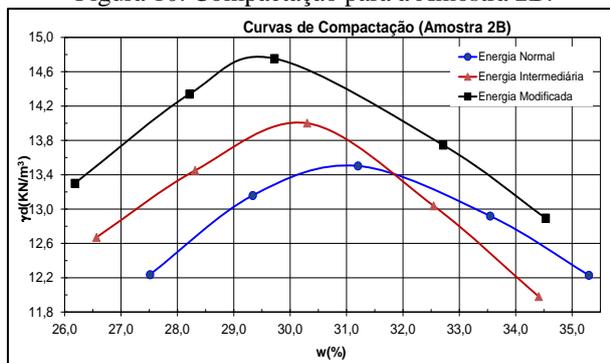
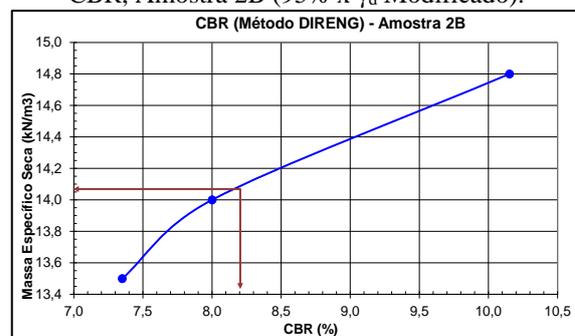


Figura 11. Determinação, método DIRENG, do CBR, Amostra 2B (95% x γ<sub>d</sub> Modificado).





## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos levantamentos bibliográficos, estudos de campo e de laboratório, e das devidas análises, pode-se considerar:

- a. A importância do programa de investigação geológico-geotécnico se constituir de uma campanha com levantamento bibliográfico, investigações de campo e laboratório;
- b. Os estudos mostraram o pouco ganho no valor do CBR para os solos estudados em consideração às energias normal, intermediária e modificada. Comportamento esse já verificado em alguns solos do Centro-Oeste estudados pelos autores. Tal ocorrência se deve principalmente pela imersão em água por 96 horas requeridas no processo executivo do ensaio;
- c. Diante das análises realizadas verificou-se a real necessidade de se proceder a estudos com incorporação de aditivos, como cimento ou cal, que pudessem trazer melhorias ao solo local objetivando a utilização no subleito;
- d. Os estudos conduziram a um melhor conhecimento da distribuição e comportamento dos solos a fim de minimizar a incertezas relacionadas a comportamentos que pudessem comprometer a qualidade da obra.

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Católica de Brasília (UCB), Centro Universitário de Brasília (UniCEUB), ATP Engenharia Ltda. e à Infraero que com contribuições importantes tornaram possível a realização deste trabalho.



## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA REGULADORA DE ÁGUAS, ENERGIA E SANEAMENTO BÁSICO DO DISTRITO FEDERAL. Mapas. Distrito Federal. Disponível em: <http://www.adasa.df.gov.br/monitoramento/mapas>. Acesso em: 04 out. 2019.

Companhia de Planejamento do Distrito Federal. Atlas do Distrito Federal. Brasília, 2017.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Mapa Pedológico Digital – SIG Atualizado do Distrito Federal Escala 1:100.000 e uma Síntese do Texto Explicativo. Planaltina, 2004.

FARIA, A. Estratigrafia e sistemas deposicionais do Grupo Paranoá nas áreas de Cristalina, Distrito Federal e São João D'Aliança-Alto Paraíso de Goiás. 1995. Tese (Doutorado em geologia regional) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 1995.

Freitas-Silva, F.H.; Campos, J. E. G. Mapa Geológico do Distrito Federal em formato digital, na escala 1:100.000, Instituto de Geociências da Universidade de Brasília. Brasília: IEMA/SEMATEC/UnB, 1998.

Freitas-Silva, F.H.; Dardenne, M. A. Proposta de subdivisão estratigráfica formal para o Grupo Canastra no oeste de Minas Gerais e leste de Goiás. Brasília, 1994.