

MODELAGEM DA CURVA DE COMPACTAÇÃO DE SOLOS DE MATO GROSSO

WESLLEY SILVA OLIVEIRA¹
UDIMARA ERICA MATTEI PREILIPPER²
JOILTON DA SILVA OLIVEIRA³

RESUMO: Este trabalho tem como objetivo principal a reprodução das curvas de compactação através da metodologia de Li e Sego (2000). Foram utilizadas 15 amostras de solos, coletados entre os municípios de Primavera do Leste a Guarantã do Norte. A caracterização foi realizada no laboratório da Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT, encontrando a proporção de solos finos e, o diâmetro máximo das partículas, possibilitando analisar a curva de acordo com a largura da base e posicionamento dos principais pontos da curva, como a paridade máxima, umidade ótima e o ponto de sensibilidade de compactação linear (CST) para a energia de Proctor normal. Foi possível reproduzir de forma prática uma família de curvas de compactação, que não se restringiu apenas as condições que foram geradas. Neste caso, podemos afirmar que o método Li e Sego usado para a modelagem das curvas mostrou-se aplicável para os solos estudados.

PALAVRAS-CHAVE: Caracterização de solo; Curva de compactação; Proctor normal.

MODELING OF THE COMPACTION CURVE OF SOILS OF MATO GROSSO

ABSTRACT: *This work has as main objective the reproduction of compaction curves through the methodology of Li and Sego (2000). Were used 15 soil samples, collected between the municipalities of Primavera do Leste to Guarantã do Norte. The characterization was realized at the laboratory of the Universidade do Estado do Mato Grosso – UNEMAT, finding the proportion of fine soils and the maximum diameter of the particles. Allowing to analyze the curve according the base width and positioning of the main points of the curve, with the maximum parity, optimum moisture and the sensibility point of linear compaction (CST) for the energy of the normal Proctor. Was possible reproduce of practice way a family of compaction curves, that wasn't only restricted the conditions that were generated. In this case we can say that Li and Sego method used for modeling curves proved to be viable for the soils of the State of Mato Grosso.*

KEYWORDS: Soil characterization; Compression curve; Proctor normal.

¹ Professor Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho, Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Sinop – FASIPE, R. Carine, 11, Res. Florença, Sinop - MT. CEP: 78550-000. Endereço eletrônico: weslley_s14@hotmail.com

² Mestre em Bioenergia pela Universidade Estadual de Londrina - UEL, Graduada em Ciências Econômicas pela Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT, Sinop - MT. Endereço eletrônico: udimara_89@hotmail.com

³ Graduando em Engenharia Elétrica pela Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT, Sinop - MT. Endereço eletrônico: joilton.silveira@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Obras como construções de taludes, barragens de terra ou qualquer uma desse gênero, necessitam da compactação do solo, este método é imprescindível para o aumento de resistência do solo, proporcionando maior segurança para as construções (DAS, 2011).

Segundo CRISPIM (2010), a compactação é uma técnica antiga de melhoramento de solo, proporcionando melhoria das características de resistência do solo.

DAS (2011) descreve alguns métodos de estabilização de solos, utilizadas para a compactação em campo, as quais utilizam rolos vibratórios e compactadores. Também podendo ser representados por diversas energias reproduzidas em laboratório através do ensaio de compactação.

O aprimoramento das técnicas sobre o comportamento de solos favorece no detalhamento da curva de compactação. O método utilizado para a padronização da curva de compactação foi apresentado pelo engenheiro Ralph R. Proctor em meados de 1933. A partir do mesmo, ocorreram diversas pesquisas sobre o detalhamento da curva de compactação (DAS, 2011).

Uma delas é a metodologia usada por Li e Seigo (2000) que propõem a redução da quantidade de amostras necessárias para a determinação dos parâmetros do solo, como peso específico e teor de umidade.

A curva de compactação proporciona o grau de compacidade e consistência do solo entre as partículas de modo a garantir um melhor ajuste, e conseqüentemente uma boa resistência mecânica.

Com o crescimento dos municípios, principalmente no norte do Estado de Mato Grosso (IBGE, 2011), há uma necessidade de estudar o comportamento do solo. A análise de classificação e de compactação são algumas das técnicas usadas para catalogar e mapear os solos, dando suporte ao trabalho dos engenheiros.

Por esse motivo, tal pesquisa tem como finalidade avaliar as curvas de compactação dos solos entre os municípios de Primavera do Leste à Guarantã do Norte, levando em consideração a diferença entre as curvas originais e as modeladas com a metodologia de Li e Seigo (2000).

Sendo assim, a pesquisa vem contribuir para o conhecimento da projeção das curvas, indicando parâmetros que favoreçam a elaboração de projetos futuros.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 COMPACTAÇÃO DO SOLO

Segundo Ferreira (1985, p. 4), “o solo é um composto trifásico (fases sólidas, líquidas e gasosas) que quando sujeito a cargas sofre deformações reversíveis (transientes ou temporárias) e permanentes”. Carga essa que provocam a diminuição no volume de vazios das camadas buscando o adensamento ou o recalque.

Conforme o DNIT (2006), a compressibilidade determina o comportamento do solo quando aplicada uma carga, diminuindo seu volume com a expulsão de ar e água. Para determinada situação, a expulsão de ar provoca a compactação, já na expulsão de água tem-se o adensamento.

Dessa forma, um dos principais pesquisadores para a padronização do método de compactação foi o engenheiro Ralph R. Proctor, que na década de trinta, apresentou suas

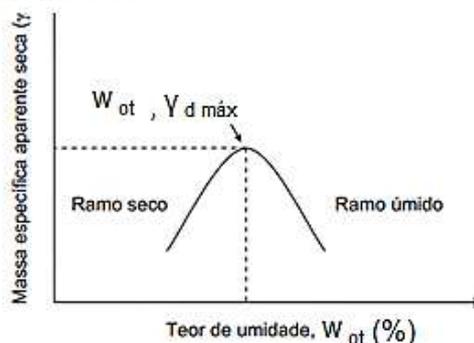
observações de aterros sobre solos (PINTO, 2006). Atribuindo para um experimento em laboratório e simulando os esforços aplicados no solo por um equipamento de compactação em campo, através de certos números de golpes de um soquete em uma amostra depositada em um molde (CRISPIM, 2007).

No Brasil o ensaio de compactação ou Ensaio de Proctor foi normalizado pela ABNT 1986 e DNER 1994. Para o ensaio de compactação são utilizadas três energias, normal, intermediária e modificada, de acordo com a Tabela 1.

Cilindro	Características inerentes a cada energia de compactação	Energia		
		Normal	Intermediária	Modificada
Pequeno	Soquete	Pequeno	Grande	Grande
	Nº Camadas	3	3	5
	Nº de Golpes por camada	26	21	27
Grande	Soquete	Grande	Grande	Grande
	Nº Camadas	5	5	5
	Nº de Golpes por camada	12	26	55
	Altura do disco separador (mm)	63,5	63,5	63,5

Fonte: Adaptado da ABNT- 1984.
Tabela 1 - Energia de compactação.

Segundo Das (2011), no período de ensaio, o molde é fixado com uma chapa de apoio no fundo e uma chapa de extensão no topo e, em seguida, o solo deverá ser misturado com diferentes quantidades de água, obtendo assim alguns pontos da curva “teor de umidade ótimo” versus “peso específico aparente seco”.



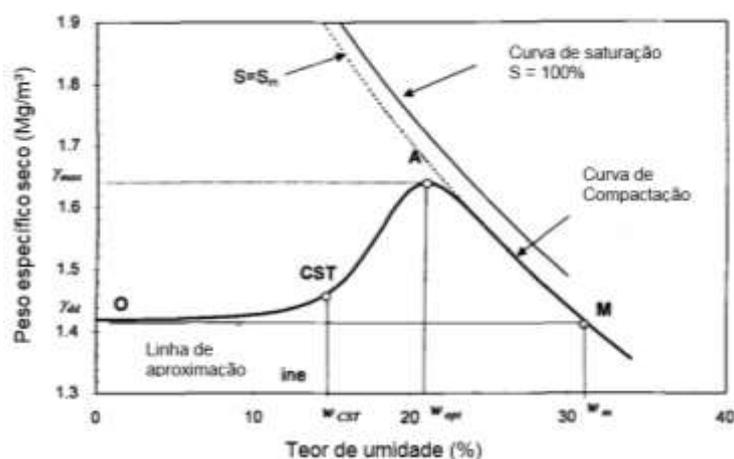
Fonte: Crispim (2007).

Figura 1 - Aspectos da curva de compactação de um solo.

De acordo com Kormann (1997), a compactação prevê determinação do teor de umidade ótima do solo para uma determinada energia de compactação e o peso específico seco máximo.

2.2 CARACTERÍSTICAS DA CURVA DE COMPACTAÇÃO

De acordo com Crispim (2007), “a relação entre os parâmetros: massa específica aparente seca (γ_d) e teor de umidade (w), podem ser descritas por uma curva de formato aproximadamente parabólico [...]”, ou o formato de um sino o que observa-se na Figura 3, no qual o ponto máximo delimita o ramo seco do ramo úmido.



Fonte: Li e Segó (2000) Adaptado pelo autor.

Figura 2 – Curva completa de compactação.

A curva de compactação é uma representação do processo de redução dos vazios do solo, através do acréscimo de água e, adição do esforço de compactação. Desta forma, as partículas se deslizam umas sobre as outras aumentando a densidade da amostra em relação o seu volume (DAS, 2011).

Kormann (1997) descreve que o solo após ter atingido seu teor de umidade ótimo com um acréscimo maior de água reproduz o processo inverso, o qual a densidade do material compactado começa a reduzir.

A curva de compactação é apresentada por Li e Segó (2000) em situações, ramo muito seco, após o ponto de sensibilidade ao esforço (CST) o ramo seco e, conseqüentemente após ao ponto máximo da curva (PMC) o ramo úmido.

Respectivamente no ramo muito seco, a densidade permanece constante com o acréscimo de água até atingir o CST, no qual a amostra passará a sofrer influência na massa específica seca. A partir do mesmo, os valores da massa específica aumentam até o PMC, representado na Figura 2 pelo ponto A.

De acordo com Keller *et al.* (2011) *apud* Goulart (2012), o PMC é controlado por uma condição determinada pelo índice de vazios inicial do solo, sendo esta a propriedade que mais influência nas propriedades compressivas do solo.

Outros autores como Faure (1981), Saini e Chow (1984) e Faure e Da Mata (1994) estudaram a curva de compactação completa, com a observação de que, com o acréscimo do teor de argila na estrutura do solo e o aumento de esforços, possibilitou que o teor em água conserva-se a curva no lado seco constante, até atingir o ponto de limite de sensibilidade de compactação - CST (LI e SEGO, 2000).

2.3 TENTATIVAS DE MODELAGEM A PARTIR DE UM PONTO

De acordo com Crispim (2010), a modelagem da curva de compactação é alvo de vários estudos que visam prever o comportamento do solo.

Desta maneira o Estado de Ohio nos Estados Unidos da América, utilizou um extenso banco de dados com um número aproximado de 10150 amostras. O qual em meados

das décadas de 1940 e 1950 chegou as 26 curvas típicas. Ordenadas com $\gamma_{d\text{ máx}}$ crescente e w_{ot} decrescente, possibilitando estimar a curva de compactação de a partir de um único ensaio de Proctor (CRISPIM, 2010).

Novais Ferreira (1985) apresentou estudos parecidos com curvas típicas para os solos da Angola, no total foram utilizadas 667 amostras com classificações desde A-1-a (0) até A-7-6 (20). A pesquisa chegou a resultados similares a de Ohio, mesmo diante de formação geológica diferente.

Segundo Basheer (2001) *apud* Crispim (2010), alguns pesquisadores para descrever a curva de compactação utilizam polinômios de segundo até quarto grau, ou até mesmo métodos quadráticos, os quais apresentam restrições as quais foram geradas dificultando ou menos impossibilitando a extrapolações para outras situações.

2.4 PROCESSOS DE MODELAGEM DA CURVA DE LI E SEGO (2000).

Este item descreve a metodologia usada por Li e Segó (2000), onde os autores demonstram a possibilidade de reproduzir de forma prática uma família de curvas de compactação.

As condições iniciais do solo não se restringem apenas as condições que foram geradas. De acordo com Gregory et al. (2006) *apud* Goulart (2012), para solos com baixo teor em argila há a necessidade de equações polinomiais, para ajustar o formato da curva de compactação.

Em determinadas situações o comportamento do solo apresentou parâmetros importantes no formato e amplitude, a densidade apresenta-se constante no ramo muito seco e, serve como limitante no ramo úmido não apresentando grandes variações.

A densidade do solo no ramo totalmente seco é um dos fatores deixados de lado por vários anos, o mesmo tem comportamento constante até atingir o ponto de sensibilidade ao acréscimo de água. Desta maneira é possível encontrar a declividade da linha de aproximação (K), demonstrado na equação 1.

$$K = \frac{S_{dd}}{w_{dd}} \quad \text{Equação 1}$$

Após traçar a linha de aproximação tangenciando o ramo seco e interceptando a curva S versus w , presume-se que o grau de saturação máxima seja atingido no ponto M demonstrado na Figura 3. Desta maneira ocorre a correlação com o teor de umidade máximo (w_m) na equação 2.

$$w_m = \frac{S_m}{K} \quad \text{Equação 2}$$

Li e segó (2000) descreve que o grau de saturação máximo (S) permanece constante paralelo a curva de saturação, por isso é uma referência para o controle do lado úmido da curva.

$$S = f(w) \quad \text{Equação 3}$$

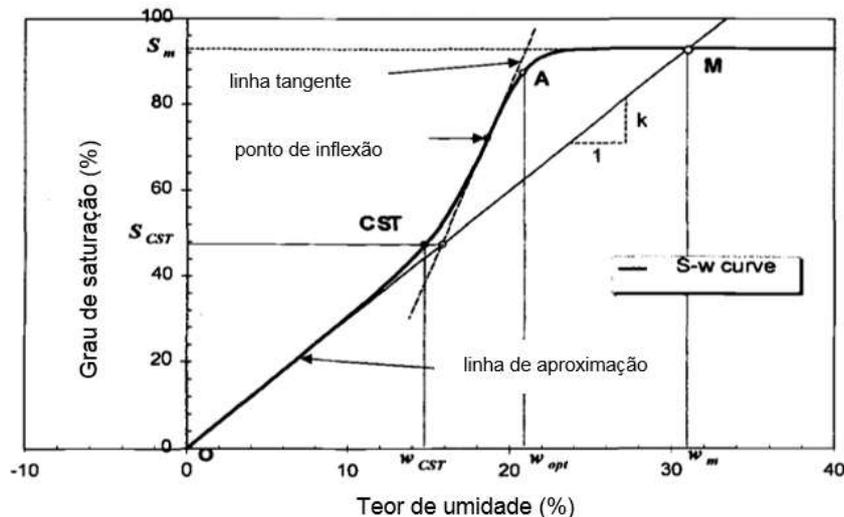
A equação 3 apresenta uma análise quanto o emprego do grau de saturação (S) em relação o teor de umidade(w). Desta maneira é possível converter para a curva de compactação através da Equação 4.

$$\gamma_d = \frac{G\gamma_w}{1 + \frac{wG}{f(w)}} \quad \text{Equação 4}$$

Para a modelagem da curva de compactação é essencial o conhecimento sobre a amplitude e largura da curva de compactação de acordo com as características dos solos. Denominados como fatores de forma os parâmetros n e p variam conforme apresentado na curva grau de saturação *versus* teor de umidade apresentados na Figura 3, o qual os parâmetros são encontrados através das Equações 5 e 6.

$$n = \frac{nw_{opt}}{w_{opt}} = \frac{BM'}{OA'} \quad \text{Equação 5}$$

$$p = OM' - OA' \quad \text{Equação 6}$$



Fonte: Adaptados de Li e Sego (2000).

Figura 3 - Grau de saturação *versus* Teor de umidade.

De certo modo, Li e Sego (2000) através da Equação 7 foi possível a formação de algumas curvas de compactação típicas, demonstram na Figura 4. Assim com a determinação dos parâmetros S_m , w_m , n , p , e os γ_s , γ_w , e após a determinação do tipo de energia a ser aplicado para a modelagem de uma curva experimental.

$$\gamma_d = \frac{\gamma_s}{1 + \left\{ \frac{w\gamma_s}{\gamma_w} / S_m \left[1 - \left(\frac{w_m - w}{w_m} \right)^{n+1} \frac{w_m^n + p^n}{(w_m - w)^n + p^n} \right] \right\}} \quad \text{Equação 7}$$

γ_d – Peso específico aparente seco do solo;

w – Teor de umidade do solo;

γ – Peso específico da água;

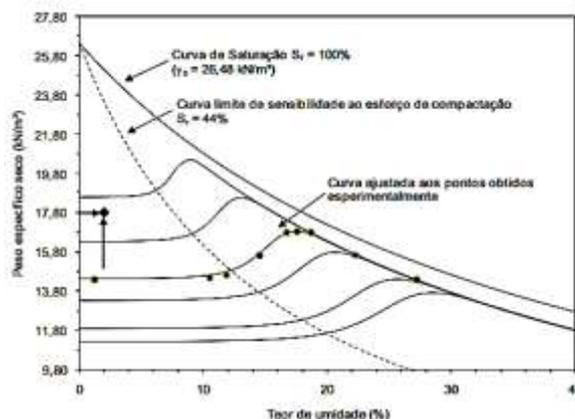
γ_s – Peso específico dos sólidos;

S_m – Grau de saturação máximo;

w_m – Teor de umidade correspondente ao S_m ;

n – Fator de forma da curva;

p – Índice relativo à faixa de umidade em que o solo é sensível ao esforço de compactação.



Fonte Crispim (2010).

Figura 4 - Família de curva de compactação típicas, geradas a partir de dados de Li e Segó (2000).

Os autores perceberam que quando modificados os esforços de compactação a curva tende a deslocar para a esquerda e para cima conforme a Figura 3. Inalterado o formato da curva, assim o grau de saturação do CST permanece constante para um mesmo solo. Partindo da definição do CST, o S_{CST} pode ser encontrado através da equação 8 e 9.

$$S_{CST} = S_m - K_p * \left(\frac{n+1}{n-1}\right)^{\frac{n+1}{n}} \quad \text{Equação 8}$$

$$K_p = \frac{S_m}{w_m} * p \quad \text{Equação 9}$$

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Solo

Neste trabalho foram utilizados solos estudados por Kols (2014), Machado (2012), Razia (2013) e Simioni (2011), afim de obter uma distinção dos materiais a serem utilizados, foram recolhidos solos entre os Municípios de Primavera do Leste a Guarantã do Norte, usando como referência o Mapa de Solos do Estado de Mato Grosso (SEPLAN, 2001). Apresentando suas classificações pedológicas na Tabela 2.

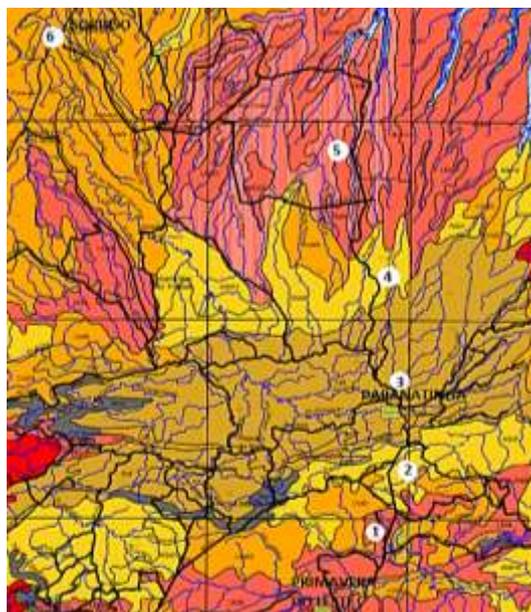
Solos	Sigla	Classificação Pedológica
1	Led	Latossolo vermelho-escuro distrófico
2	AQd	Areia quartosa distrófico
3	Ca	Cambissolo álico
4	AQd	Areia quartosa distrófico
5	Led	Latossolo vermelho-escuro distrófico
6	LVd	Latossolo vermelho-amarelo distrófico
7	AQd	Areia quartosa distrófico
8	LVd	Latossolo vermelho-amarelo distrófico
9	LEd	Latossolo vermelho-escuro distrófico

10	LVd	Latossolo vermelho-amarelo distrófico
11	SCLd	Solos concrecionários latossólicos distrófico
12	PVd	Podzólico vermelho-amarelo
13	PEd	Podzólico vermelho-escuro
14	PEd	Podzólico vermelho-escuro
15	LEd	Latossolo vermelho-escuro distrófico

Fonte: Kolls (2014); Razia (2013); Machado (2012) e Simione (2011).

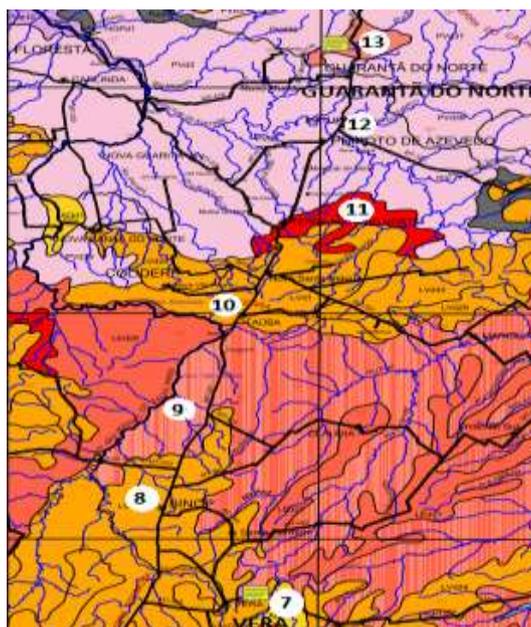
Tabela 1 - Classificação pedológica.

Os pontos apresentados nas Figuras 5 e 6, demonstram as localidades de coleta do solo. Entre os municípios de Primavera do Leste a Paranatinga foram obtidas as amostras dos pontos 1 a 5, para Sorriso a amostra 6, entre Vera e Feliz Natal a amostra 7, entre os municípios de Itaúba e Nova Santa Helena a amostra 9, Terra Nova do Norte a amostra 10, Peixoto de Azevedo a amostra 11, Matupá a amostra 12 e Guarantã do Norte a amostra de 13. No município de Sinop existem 3 amostras de solos, sendo que, 2 foram doadas pela Prefeitura Municipal de Sinop e, a outra está representada pelo ponto 8.



Fonte: Adaptados de SEPLAN, (2001).

Figura 5 - Localização dos pontos 1 a 6.



Fonte: Adaptados SEPLAN, (2001).

Figura 6 - Localização dos pontos 7 a 13.

A Tabela 3, apresenta as coordenadas de localização de cada ponto de coleta das amostras de solo.

Amostra de Solo	Classificação pedológica			
1	15°04'49,4"	S	54°05'49,2"	O
2	14°47'15,7"	S	54°06'02,9"	O
3	14°20'57,7"	S	54°04'19,6"	O
4	13°38'36"	S	54°06'20,8"	O
5	13°09'05,3"	S	54°17'29,5"	O
6	12°41'57,4"	S	55°32'49,9"	O
7	12°17'17,9"	S	55°04'07,8"	O
8	11°51'18,81"	S	55°29'20,23"	O
9	11°21'13,68"	S	55°20'04,13"	O
10	10°53'35,85"	S	55°12'00,18"	O
11	10°35'23,44"	S	55°05'36,85"	O
12	10°04'22,35"	S	55°54'17,93"	O
13	09°52'22,9"	S	54°53'23,71"	O
14	11°51'25,64"	S	55°31'35,08"	O
15	11°53'21,60"	S	55°38'25,19"	O

Fonte: Kolls (2014); Rhazia (2013); Machado (2012) e Simione (2011).

Tabela 3 - Localização dos pontos de coleta

As amostras, de cerca de 50 kg de solo foram coletadas a 0,50 m de profundidade e levadas ao laboratório de engenharia civil da UNEMAT, campus de Sinop, secas ao ar e estocadas.

3.2 CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA.

As tabelas 4 e 5 mostram a caracterização dos solos analisados.

Solo	Areia(%)			Argila + Silte	LL (%)	IP (%)	Autor
	Grossa	Média	Fina	(%)			
1	1	3	16	80	28	16	Razia
2	0	10	87	3	18	NP	Razia
3	0,3	0,3	17,8	81,6	28,0	13,0	Razia
4	0,2	10,7	49,2	39,9	20,0	6,0	Razia
5	0,6	17,2	58,9	23,3	15,0	NP	Razia
6	0,7	1,4	9,8	88,1	46,0	24,0	Razia
7	0,7	6,6	70,7	21,5	35,0	NP	Kols
8	14,8	2,5	30,4	52,4	43,0	27,0	Kols
9	0,3	0,4	73,9	25,3	22,0	NP	Kols
10	11,4	4,6	66,2	17,8	37,0	NP	Kols
11	11,4	9,6	27,0	52,0	32,0	13,0	Kols
12	2,5	8,6	34,3	54,6	44,0	33,0	Kols
13	20,3	3,3	38,8	37,6	35,0	29,0	Kols
14	0,5	1,5	27,3	70,6	33,1	6,8	Simione
15	1,0	0,5	66,5	32,0	NL	NP	Machado

Fonte: Kolls (2014); Rhazia (2013); Machado (2012) e Simione (2011).

Tabela 4 – Caracterização dos solos estudados.

Solo	Metodologia de Classificação	
	AASHTO	USCS
1	A-6 (10)	CL
2	A-3 (0)	SP
3	A-6 (9)	CL
4	A-4 (1)	SM
5	A-2-4 (0)	SM
6	A-7-5 (15)	CL
7	A-2-4 (0)	SM
8	A-7-6 (6)	CL
9	A-2-4 (0)	SW
10	A-2-4 (0)	SC
11	A-6 (6)	CL
12	A-7-5 (5)	CL
13	A-4 (0)	SW-SC
14	A-4 (0)	SW-SC
15	A-2-4 (0)	SC

Fonte: Kolls (2014); Rhazia (2013); Machado (2012) e Simione (2011).

Tabela 5 - Classificação das amostras.

3.3 ENSAIO DE COMPACTAÇÃO

O ensaio de compactação ocorreu conforme a ABNT (1986), onde a energia utilizada foi de Proctor normal e, os equipamentos usados foram cedidos pela Universidade do Estado de Mato Grosso. O ensaio procedeu de acordo com a Tabela 1.

3.4 PROJEÇÃO DA CURVA DE COMPACTAÇÃO

Para aplicação dos modelos de projeção de Li e Segoo (2000) os solos foram agrupados segundo sua classificação AASHTO-TRB. Uma curva foi escolhida aleatoriamente de cada grupo e utilizada como modelo, verificando os demais solos do grupo.

Na Tabela 6 são descritos os grupos, sendo as amostras modelos para gerar os parâmetros da curva, os solos 6, 10, 11, 13 e, retirados através das Equações 2 e 3 os parâmetros n e p necessários para a projeção.

Grupos de classificação	Amostras de Solos	
	Modelo	Teste
A-2-4	10	5; 7; 9 e 15
A-4	13	2, 4 e 14
A-6	11	1 e 3
A-7-5	6	8 e 12
Total	15	

Fonte: Elaborado pelo autor.

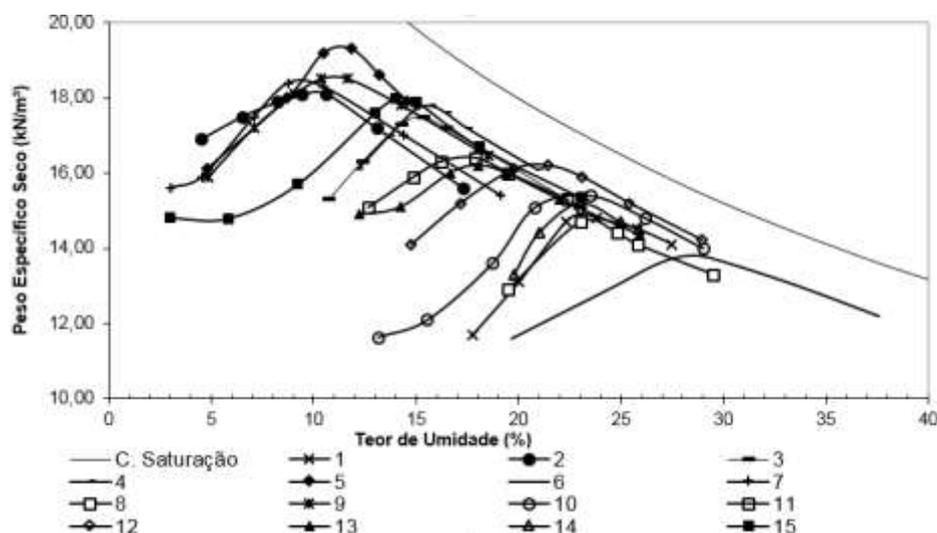
Tabela 6 - Divisão das amostras testadas.

Com os parâmetros necessários para a modelagem da curva de compactação encontrados de acordo com o item 2.4, no qual a Equação 7 depende apenas da variação do teor de umidade (w), para o mesmo ocorreu a variação de 1% definindo a curva completa com 40 pontos na modelagem.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CURVA DE COMPACTAÇÃO

Os resultados das amostras de solos compactadas estão apresentados na Figura 7, qual esboça a posição em relação a curva de saturação máxima.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 7 – Posicionamento das curvas de compactação de solo em relação ao grau de saturação.

No intervalo de 93% à 88% do grau de saturação encontram as amostras 4, 6, 10 e 12, onde os solos 6 e 12 possuem uma base larga e topo com raio de curva suave de acordo com sua classificação e, as amostras 4 e 10 o topo tem menor suavidade e a base diminui conforme aumenta o teor em areia.

As amostras 1, 3, 5 e 14, apresentaram grau de saturação máximo próximo de 85%, onde os solos 1, 3 e 14 apresentam base larga e curvatura suave.

A amostra 5 apresentou maior teor em areia, assim tendo a base estreita e o raio de curva menor.

Os solos 8, 9, 11 e 13, apresentam um grau de saturação de 80%, onde de acordo com a distribuição granulométrica equilibrada entre os teores de argila e areia, o solo possui bases longas e topo mais estreito.

Solos que apresentaram má distribuição granular, como as amostras 2 e 7, e auto teor em areia obteve-se grau de saturação próximo de 70%, onde o formato com menor suavidade em relação aos solos argilosos.

4.2 Projeção das curvas.

De acordo com os ensaios de projeção direto, foi possível obter os seguintes resultados de n , p , Sm e w_m .

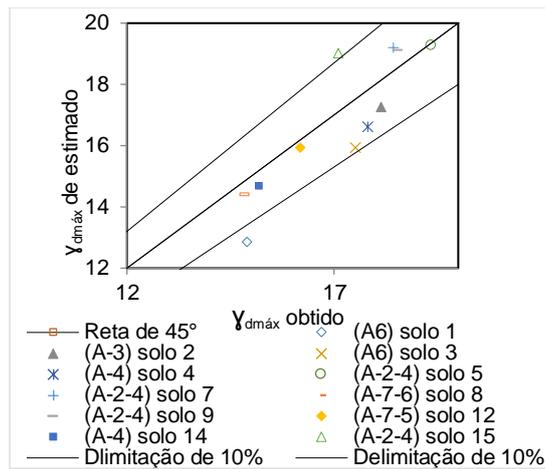
AASHTO	Solo	p	n	Sm	wm
A-2-4	5	10,56	27,66	84,86	20,22
	7	12,78	8,35	68,17	20,86
	9	9,51	6,95	78,00	19,22
	10	23,90	16,18	91,73	43,29
	15	4,81	5,55	51,06	13,6
A-3	2	4,10	3,19	67,20	13,88
A-4	4	6,71	16,13	88,31	21,08
	13	6,53	5,89	81,30	23,4
	14	9,69	30,95	85,65	31,07
A-6	1	20,29	20,19	83,42	40,81
	3	8,67	17,26	82,39	22,3
	11	6,57	6,45	81,52	22,75
A-7-5	6	16,29	8,90	88,80	42,19
	12	11,70	15,13	93,68	30,46
A-7-6	8	13,37	58,83	80,33	34,93

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 7 - Parâmetros Geométricos de Projeção.

Com esses valores foi possível testar os solos na Equação 4, de acordo com suas respectivas classificações, assim encontrando os γ_d e w_{ot} de cada curva. As Figuras 8 e 9 apresenta a variação em relação aos dados originais das curvas.

A projeção das curvas para uma mesma energia apresentou uma baixa variação entre pesos específicos, em alguns casos ocorreu que o modelo superestima ou subestima os valores quando comparados com a curva original.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 8 - Variação do gd máx.

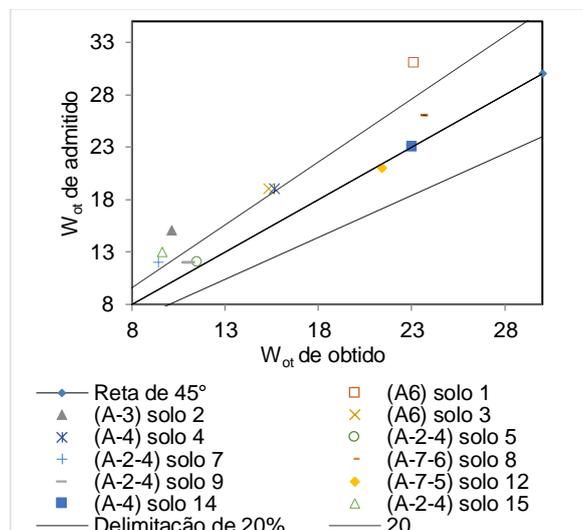
A Figura 8 apresenta os pontos correlacionados entre sua classificação e, peso específico dos solos ensaiados nessa pesquisa. Observe que para todas as amostras da categorias A-2-4 o modelo superestima os resultados onde ocorre uma variação de até 10 % em relação peso específico projetado e peso específico compactado.

O solo 2 por ser o único com a classificação A-3 foi testado junto com o grupo A-4, tendo como parâmetro a amostra 13, esse grupo apresentou uma diminuição de 7% em relação ao peso específico obtido através da compactação.

Para as amostras do grupo A-6, foram utilizado como base o solo 11, onde este grupo de ensaio apresentou uma maior variação dos pesos específicos, onde verifica que o modelo encontra valores menores que o reais. Tendo uma distribuição granular diferente entre a amostra teste e a amostra testada o formato da curva padrão apresenta maior abertura a base e menor altura da curva.

Para o grupo de solo A-7-5, foram utilizados como parâmetro os solo 6, onde ocorreu uma variação de aproximadamente 2,5% menor em relação ao peso específico original. Para o mesmo foram testado a amostra 8 classificado como A-7-6.

Também foram verificadas os teores de umidade de projeção em relação ao solo original da curva, estão apresentados na Figura 9.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 9 - Verificação do Wot.

Desta maneira verificou que quanto maior a diferença na distribuição entre as amostras maior a variação da teor de água. Para o caso do teor de umidade, a variação apresentou-se superestimada devido a proporção de fino nas amostras, pois de acordo com essa variação a curva tem a tendência a se deslocar para a direita ou para esquerda.

Sendo assim a verificação do teor de umidade demonstra um acréscimo na estimativa da proporção de água na amostra. As curvas 5, 9, 12 e 14 tiveram variações entre o pontos bem próximo da reta de 45°. Para o restante das curvas ocorreu maior variação, onde a discrepância ultrapassou os 25%.

5. CONCLUSÃO

O método Li e Sego mostrou-se viável para a projeção das curvas para os solos do Estado de Mato Grosso. As projeções tiveram uma margem de variação em relação aos solos A-2-4, A-4 e A-7-5 de 3% a baixo da reta de 45° e, 9% a cima, devido ao peso específico máximo. Para os solos A-6 verificou redução de aproximadamente 16% em relação as curvas originais.

Porém é necessário um maior número de amostras de solos para a construção de uma carta de curvas para o Estado. Para que possa ter uma noção prévia do comportamento do solo, aprimorando a metodologia englobando ao cotidiano da engenharia.

As curvas de compactações são caracterizadas porque a distribuição granulométrica influencia no grau de abertura da curva, e no posicionamento dos pontos, como peso específico e no teor de umidade. Ferreira (1985) descreve que as curvas com “granulometria pouco extensa situam-se à esquerda”, já “granulometrias extensas e bem ajustadas [...]” encontram-se mais à direita.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Comitê Brasileiro de Construção Civil. **Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação**. Método de Ensaio: NBR 6457. Rio de Janeiro, 1986.

_____. Solo – **Análise granulométrica**. Método de Ensaio: NBR 7181. Rio de Janeiro, 1984.

_____. Solo – **Determinação do limite de liquidez**. Método de Ensaio: NBR 6459. Rio de Janeiro, 1984.

_____. Solo – **Determinação do limite de plasticidade**. Método de Ensaio: NBR 7180. Rio de Janeiro, 1984.

_____. Solo – **Ensaio de compactação**. Método de Ensaio: NBR 7182. Rio de Janeiro, 1986.
AZEVEDO, A. L. C. D. **Estabilização de solos com a adição de cal. um estudo a respeito da reversibilidade das reações que acontecem no solo após a adição de cal**. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, p. 114. 2010.

CRISPIM, F. A. **Compactação de solos: influência de métodos e de parâmetros de compactação na estrutura dos solos.** Universidade Federal de Viçosa. Viçosa-MG, p. 77. 2007.

CRISPIM, F. A. **Influência de variáveis de compactação na estrutura dos solos: caracterizações geotécnica, química, mineralógica e microestrutural.** Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, p. 125. 2010.

DAS, B. M. **Fundamentos de engenharia geotécnica.** São Paulo: Cengage Learning, 2011.
DNIT. Manual de Pavimentação. 3°. ed. Rio de Janeiro: IPR Publ.,719, 2006. 271 p.

FERREIRA, H. N. **Aspectos da compactação em estradas.** Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa, p. 61. 1985.

FORTES, R. M. **Método de Expedição de Identificação MCT de Solos Tropicais, para Finalidade Rodoviária, Utilizando Anéis de PVC Rígido.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 210. 1990.

FUTAI, M. M. **Propriedades geotécnicas dos solos saprolíticos e rochas alteradas de filito.** IX Congresso Brasileiro de Geologia de engenharia. São Pedro-SP. 1999.

GOULART, R. Z. **Modelagem da curva de compressão e da pressão de preconização do solo.** Universidade Federal de Santa Maria Centro de Ciências Rurais. Santa Maria - RS, p. 67. 2012.

KORMANN, A. C. M. **Ensaio de compactação e caracterização.** Universidade Federal do Paraná. Curitiba, p. 28. 1997.

MACHADO, W. R. **Estudo experimental referente ao tratamento solo-cal com vistas à pavimentação em Sinop/MT.** Universidade do Estado de Mato Grosso. Sinop, p. 15. 2012.

MARANGON, M. **Tópicos em geotecnia e obras de terra.** Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora. 2006.

MELO, F. G. D. **Compactação de aterro de barragens de terra.** Lisboa. 1985.

PINTO, C. D. S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos.** 3° Edição. ed. São Paulo: Oficina de Texto, 2006.

SENÇO, W. D. **Manual de Técnicas de pavimentação.** 2. ed. São Paulo : Pini, v. 1, 2007.

SINIONI, C. F. **Estudos da estabilização de solos com cal na região de Sinop-MT para fins de pavimentação.** Universidade do Estado de Mato Grosso. Sinop, p. 46. 2011.

VILLIBOR, D. F. et al. **Pavimento de Baixo Custo.** 2° Edição. ed. São Paulo: Arte & Ciência, 2009.