

AVALIAÇÃO DE SOLOS COM ADIÇÃO DE CIMENTO PARA A APLICAÇÃO EM BASES E SUB-BASES DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS¹

Cláudia Borges²
Adriano Rodrigues
Pedro Luiz Terra Lima

RESUMO

O solo é de extrema importância para a construção civil, devendo apresentar boa resistência e suportar as cargas impostas para o que foi projetado. O objetivo da pesquisa foi comparar a resistência de solo natural e com adição de cimento, para que seja utilizado em pavimentações flexíveis, aumentando sua vida útil. Os solos testados foram Cambissolo e Latossolo. Inicialmente foi determinada a umidade ótima por meio do ensaio de *Proctor*, obtendo-se 26,40% de umidade ótima para o Cambissolo e 30,42% para o Latossolo. Em seguida realizaram-se ensaios de compressão axial com diferentes porcentagens de cimento, nos quais o Cambissolo mostrou-se menos resistente que o Latossolo, para todos os fatores analisados. Para o Cambissolo, ao se adicionar 50% de cimento, foi observado um aumento de resistência de dezesseis vezes maior que o solo natural. Para o Latossolo, esse aumento, mantida a mesma porcentagem de cimento, foi de aproximadamente nove vezes. Confirmou-se ainda que, em ambos os solos, a adição do cimento aumenta sua resistência. Também foram realizados ensaios de cisalhamento direto, nos quais o Latossolo mostrou-se mais resistente que o Cambissolo, sendo capaz de absorver mais esforços nele solicitados. Nestes ensaios, os resultados não foram significativos como previsto para o Cambissolo. Para o Latossolo in natura, quando os corpos de prova foram submetidos ao menor peso (70 kgf) resistiram a 597 KPa e esta resistência foi crescente à medida que os pesos foram aumentando, chegando ao valor máximo de 870 KPa, quando submetidos ao maior peso (190 kgf).

Palavras-chaves: Cambissolo. Latossolo. Resistência.

ANALYSIS OF CEMENT-MODIFIED SOILS FOR APPLICATION IN BASES AND SUBBASES OF FLEXIBLE PAVEMENTS

ABSTRACT

The soil is extremely important for civil construction, and must have good resistance and withstand the loads imposed for what was designed. The objective of the research was to compare the resistance of natural soil and with the addition of cement, so that it is used in flexible pavements, increasing its useful life. Cambisol and Latosol were analyzed in this work. First, the optimum moisture was determined by Proctor essay, obtaining 26.40% of optimum moisture for Cambisol and 30.42% for Latosol. Then, axial compression tests were

¹**Como citar este artigo:** BORGES, C.; RODRIGUES, A.; LIMA, P. L. T. Avaliação de solos com adições de cimento em bases e sub-bases de pavimentos flexíveis. *ForScience*, Formiga, v. 8, n. 1, e00504, jan./jun. 2020. DOI: 10.29069/forscience.2020v8n1.e504.

²**Autor para correspondência:** Cláudia Borges, e-mail: cborges31@hotmail.com.

carried out with different percentages of cement, in which the Cambisol was less resistant than the Latosol for all factors analyzed. For Cambisol, by adding 50% of cement, an increase in strength of sixteen times greater than natural soil was observed. For the Latosol, this increase, maintained the same percentage of cement, was approximately of nine times. It was also confirmed that, in both soils, the addition of cement increases its strength. Direct shear tests were also performed, in which the Latosol was more resistant than the Cambisol, being able to absorb more efforts requested. In these trials, results were not significant as predicted for Cambisol. For the Latosol in natura, when the specimens were submitted to the lowest weight (70 kgf) they resisted to 597 KPa and this resistance increased as the weights increased, reaching the maximum value of 870 KPa, when submitted to the highest weight (190 kgf).

Keywords: Cambisol. Latosol. Resistance.

1 INTRODUÇÃO

O solo é um dos elementos mais importantes no setor da construção civil, quer no seu estado natural, quer quando utilizado como material de construção (CRUZ E JALALI 2010). Portanto, torna-se importante estudá-lo para conhecer a resistência que ele é capaz de suportar e desta forma, deve-se realizar as medidas necessárias para que ele suporte os esforços necessitados. Algumas alternativas de modificações são a substituição de solo, ou alterações de projeto para adequá-lo, melhorando seu comportamento. Sendo assim, algumas técnicas alternativas são utilizadas visando a melhor forma para obter a construção de acordo com o solo presente no local. Uma destas técnicas utilizadas nesta estabilização é a adição de cimento ao solo.

Devido à escassez das disponibilidades de materiais naturais, há uma necessidade de implantação de inovações. Neste contexto, a adição de cimento é um material alternativo, de baixo custo, obtido com a homogeneização de cimento ao solo. O seu objetivo principal é aumentar a resistência mecânica, ganhando consistência e durabilidade necessárias à construção civil. Uma destas utilizações comuns é o emprego da adição de cimento na base e sub-base de pavimentações flexíveis.

Segundo Senço (2007) o pavimento pode ser considerado como uma composição de base e revestimento, sendo que a base poderá ou não ser sobreposta pela sub-base e ainda, pelo reforço do subleito. Já a sub-base é a camada suplementar à base, devendo ser aplicada quando por circunstâncias técnicas e econômicas, não for viável a construção da base diretamente sobre a regularização ou reforço do subleito.

Este trabalho teve como objetivo determinar a análise da resistência de dois solos submetidos a diferentes porcentagens de cimento para que possam ser aplicados em bases e sub-base de pavimentações flexíveis.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Solos

Conforme a NBR 6502 (ABNT, 1995), o solo é definido como: "Material proveniente da decomposição das rochas pela ação de agentes físicos ou químicos, podendo ou não ter matéria orgânica". Senço (2007) classifica o solo de acordo com sua finalidade de uso, seja pavimentação ou fundação. As características devem ser levantadas e enquadradas em determinado projeto, analisando-se a granulometria, porém esse método não define a plasticidade do solo, que é o fator de maior importância para determinar qual é o seu tipo. Esta plasticidade é definida por Caputo (2009) como sendo a capacidade de ser moldado. Desta forma, o teor de umidade e a granulometria são os fatores determinante para essa análise.

2.1.2 Índices físicos do solo

Caputo (2009) aborda que o solo constitui um sistema de três fases: sólida, líquida e gasosa, por ser um material que pode estar preenchido com água ou ar, sendo constituído por partículas sólidas e pelo espaço de vazios entre elas, como ilustrado na Figura 1.

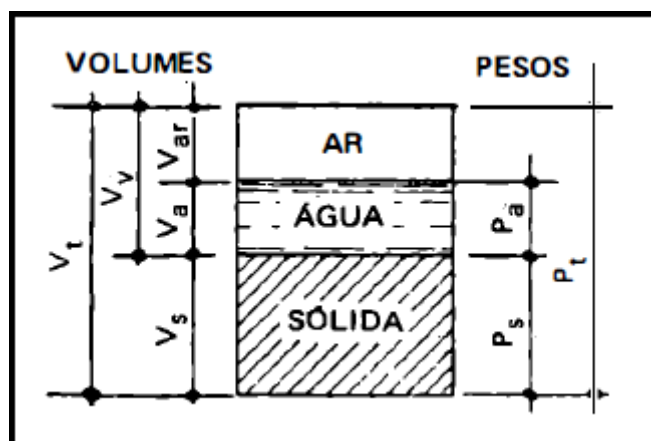


Figura 1 – Esquema representativo de volume/ peso

Fonte: Caputo (2009).

Segundo Pinto (2006), os índices físicos também permitem indicar o tipo de solo, determinar sua classificação e obter parâmetros para cálculos de pressões, permeabilidade e resistência, ou seja, são utilizados em todos os cálculos da geotécnica.

2.1.3 Teor de umidade do solo

Para Almeida (2002), o teor de umidade de uma amostra de solo é definido como a relação entre a massa de água contida em certo volume de solo e a massa da parte sólida existente nesse mesmo volume expressa em porcentagem. A quantidade de água presente nesse solo dependerá de vários fatores, como textura e porosidade. De acordo com suas propriedades, a água presente no solo pode interferir muito na sua capacidade de movimentação e estabilização.

2.1.4 Peso específico do solo

Caputo (2009) define o peso específico (g cm^{-3}) das partículas sólidas como o peso da substância que a forma por unidade do volume que ocupa no espaço. O peso específico da partícula é determinado pela razão entre seu peso e volume (secos). E a densidade de uma partícula é a razão entre seu peso específico e peso específico da água destilada (1000 g cm^{-3}).

2.2 Granulometria

A granulometria do solo é determinada através de um conjunto de peneiras, por meio de vibração. A classificação se dá de acordo com as frações de solo que ficam retidas em cada peneira. Segundo Pinto (2006), para se proceder essa análise granulométrica é preciso fazer com que os componentes do solo atravessem as peneiras que são dispostas ordenadamente, sempre iniciando com a de maior abertura de malha.

Para se representar a análise granulométrica, utiliza-se uma curva na qual o eixo das abscissas indica os valores dos diâmetros das partículas do solo, conforme a Figura 2 e, o eixo das ordenadas, as porcentagens em peso dos grãos.

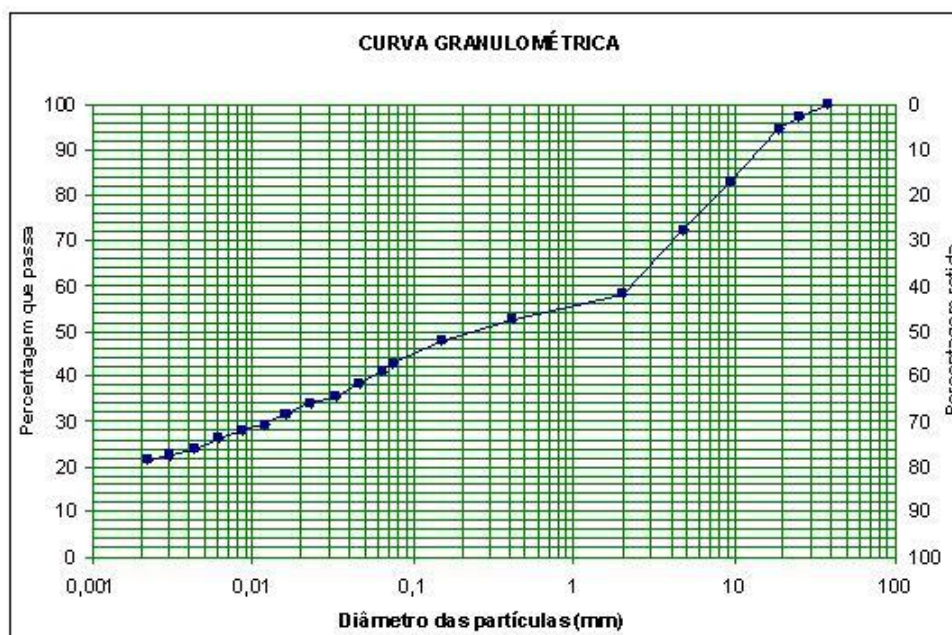


Figura 2 – Curva Granulométrica
Fonte: Caputo (2009).

As partículas são classificadas em pedregulho, conjunto de partículas cujas dimensões estão compreendidas entre 7,6 e 4,8 mm; areia entre 4,8 e 0,05 mm; silte entre 0,05 e 0,005 mm e argila inferiores a 0,005 mm, conforme a NBR 6502 (ABNT, 1995).

2.3 Classificações pedológicas

Segundo a EMBRAPA (2006), a classificação pedológica leva em conta os perfis dos solos, analisando os horizontes que compõem. Desta forma, eles são classificados em Cambissolo, Latossolo, Argissolo, dentre outros. Vale salientar que o Cambissolo e o Latossolo são os mais característicos das regiões brasileiras, sendo que o primeiro corresponde a 31,61% dos solos encontrados no Brasil, enquanto o segundo representa uma porcentagem de 5,43% do mesmo território (ANJOS *et al.*, 2012).

Ainda de acordo com a EMBRAPA (2006), no Cambissolo predomina uma maior incidência do horizonte B, onde o solo é constituído por material mineral. Devido sua heterogeneidade, condições climáticas e formas de relevo as características deste solo variam muito de acordo com a região, como sua cor, profundidade, capacidade de drenagem entre outros fatores. Já os Latossolos, são os solos onde seu material constitutivo já sofreu várias transformações, por isso é considerado um solo muito evoluído, em avançado estágio de intemperização. Possui sequência de horizontes A, B e C, são normalmente solos profundos com horizonte B latossólico que fica logo abaixo dos tipos de horizontes superficiais.

2.4 Compactação

Segundo Pinto (2006), a compactação dos solos é de grande importância para a Engenharia Civil, pois é empregada em diversos tipos de obras, como barragens, muros de arrimo, estradas de rodagem, aterros, entre outros. Este procedimento se torna necessário devido ao fato de que o solo não apresenta as condições requeridas para a execução da obra. Assim sendo, esta técnica tem como objetivo melhorar as propriedades do solo, diminuindo a permeabilidade e proporcionando um aumento da resistência ao cisalhamento.

Segundo Caputo (2009), a compactação do solo é um processo que visa a reduzir o volume dos seus vazios, com o intuito de aumentar a resistência e tornar o solo estável. Esta compactação pode ser manual ou mecânica.

2.5 Tensões de cisalhamento

Segundo Caputo (2009), tensões são os esforços que solicitam um maciço sendo provenientes do seu peso próprio, da carga de uma estrutura ou da ação de um veículo. A resistência ao cisalhamento de um solo é composta por coesão e atrito entre as partículas. A coesão funciona como uma pressão externa devido à água contida nos solos, enquanto o atrito deve-se à atração das partículas de argilas. O ensaio de cisalhamento direto é realizado para determinar a máxima tensão cisalhante que o solo suporta antes que ocorra a ruptura do material.

2.6 Concreto

Segundo Souza Junior (2004), o concreto é um material empregado em construções civis composto pela mistura de um aglomerante, o cimento, com o agregado miúdo, agregado graúdo e água, que quando misturados reagem e adquirem coesão e resistência. Conforme Petrucci e Paulon (2005), a resistência mecânica à compressão é a característica predominante do concreto no seu estado endurecido. É de notório conhecimento que o concreto é resistente quando submetido a esforços de compressão e, considerado frágil, sob esforços de tração.

Segundo Pinheiro (2007), as principais propriedades mecânicas do concreto são as resistências à compressão e à tração e o módulo de elasticidade. Essas características são determinadas a partir de ensaios executados em testes laboratoriais. Usualmente os ensaios

são realizados para o controle de qualidade do produto, analisando se ele atende os fatores fundamentais dos projetos.

2.7 Resistência à compressão

Pinheiro (2007) salientam que a resistência à compressão simples, indicado por f_c , é a característica mais importante do concreto. Para presumir a resistência de um lote de concreto, são moldados corpos de prova de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2015). O ensaio de compressão axial deve estar de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2007). Após o ensaio de compressão axial é possível traçar um gráfico que representa a curva de Gauss ou curva normal para o concreto sob análise. Nesta curva destacam-se dois valores essenciais: o da resistência média do concreto à compressão (f_{cm}) e o da resistência característica do concreto à compressão (f_{ck}). O valor de f_{cm} é a média aritmética dos valores de f_c para o conjunto de corpos de prova ensaiados, enquanto o f_{ck} é o valor da resistência, que apresenta 5% de probabilidade de não ser alcançado nos ensaios. A Figura 3 ilustra, de forma esquemática, a curva de Gauss para a análise do concreto.

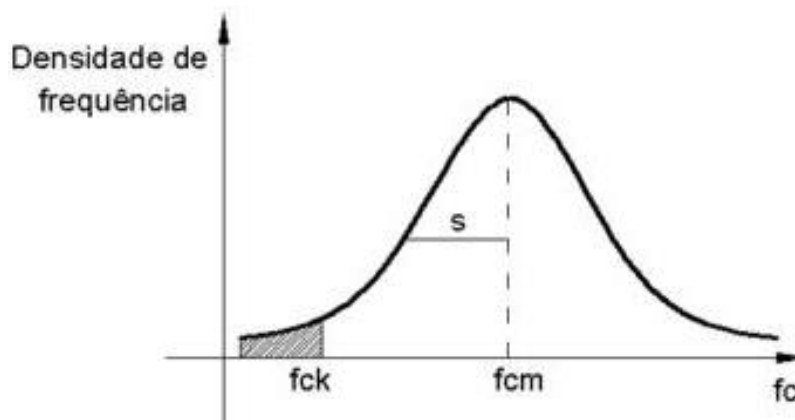


Figura 3– Curva de Gauss
Fonte: Pinheiro (2007).

2.8 Pavimentação

Segundo Senço (2007), a pavimentação flexível é uma estrutura composta por diversas camadas, estruturada com brita não tratada e contendo na superfície uma camada betuminosa. A brita limita a coesão e o ângulo de atrito, ocasionando a deformação, que pode ser evidenciada por meio de trincas e recalques. Nesse caso, a análise do solo é essencial para se determinar o critério de dimensionamento, de maneira a evitar a plastificação e fazendo com que as camadas dos pavimentos sejam estruturadas, suportando as cargas.

A pavimentação flexível é subdividida em várias camadas, conforme se observa na Figura 4. Cada camada apresenta uma funcionalidade. DNIT (2006) nos relata que base é a camada com função de resistir e distribuir os esforços oriundos do tráfego, sendo a superfície responsável por receber o revestimento. A sub-base é a camada complementar à base, quando por motivos especificados em projetos a regularização do subleito não está apto para receber a base diretamente sobre ele, necessitando assim de mais uma camada denominada sub-base.

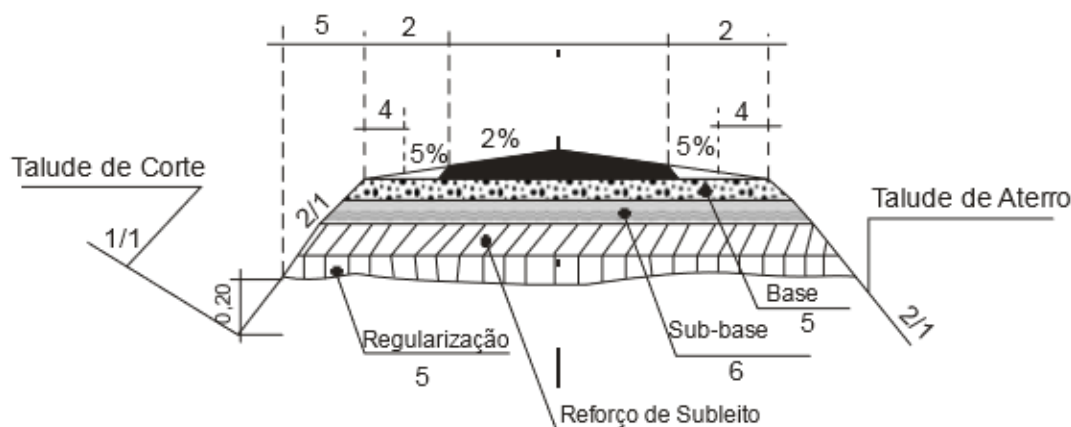


Figura 4 – Camadas de pavimento flexíveis
Fonte: Pinheiro (2007).

Em trechos novos de rodovias, onde não houve compactação devido ao tráfego, exige-se que os aterros sejam compactados de forma que os recalques não prejudiquem o pavimento. Desta forma, necessita-se uma energia de compactação maior do que aquela onde já havia uma pavimentação.

2.9 Solo cimento

Senço (2007) define solo cimento como sendo a mistura de um determinado solo, cimento e água, em proporções definidas por testes. Essa mistura deve ser homogeneizada e compactada, para satisfazer as condições previstas. De acordo com Balbo (2007), o solo cimento surgiu devido as dificuldades e alto custo de transporte dos materiais britados até as obras viárias, fator que influenciou a sua utilização no Brasil a partir de 1950. Desta forma, ele começou a ser implantado nas rodovias, sendo utilizado em bases e sub-bases.

Ainda segundo Balbo (2007), o solo cimento pode ser usado em reforço do subleito. Entretanto, se as camadas superiores como a base e sub-base não possuem uma boa característica de resistência, não será eficiente o seu uso nas camadas inferiores. Portanto, o solo cimento empregado no reforço do subleito não resistirá ao cisalhamento imposto pelo

tráfego, sendo necessário um dimensionamento e uma melhoria do solo com cimento para obter resultados relevantes.

3 MATERIAL E MÉTODO

As coletas dos solos utilizados neste estudo foram realizadas na Universidade Federal de Lavras (UFLA). Para realização dos ensaios de compactação, compressão axial e cisalhamento direto foram coletados os solos Cambissolo e Latossolo.

Os corpos de prova foram confeccionados e testados no Laboratório de Resistência dos Materiais do Centro Universitário de Lavras (UNILAVRAS). Para realização do ensaio de compactação, inicialmente foi realizada a secagem de ambos os solos. Para determinar a umidade ótima foi realizado o ensaio de Proctor normal de acordo com a NBR 7182 (ABNT, 2016). Os materiais utilizados foram um cilindro e um soquete pequeno, aplicando-se de vinte e seis golpes distribuídos uniformemente.

Para o ensaio de compressão axial foram moldados dezoito corpos de provas do solo Cambissolo e dezoito do Latossolo Vermelho, com variação de 0 a 50% de adição de cimento. Os corpos de provas foram mantidos em sacos plásticos para preservar sua umidade, durante vinte e oito dias, que é o tempo determinado para a cura do cimento de acordo com a NBR 12024 (ABNT, 2012). Estes ensaios foram realizados utilizando-se uma prensa hidráulica que aplica uma carga de compressão axial ao corpo de prova até que o mesmo se rompa, conforme a NBR 5739 (ABNT, 2007).

Para avaliar a resistência à compressão axial, foi realizada uma análise de variância (ANOVA) com um nível de significância de 5%. Também se utilizou o teste *Tukey* para comparações múltiplas com o mesmo nível de significância.

Para o teste de cisalhamento direto, os corpos de provas com a porcentagem de 0% de cimento foram moldados no momento em que foi realizado o experimento de ambos os solos. Em seguida, foram moldados oitenta corpos de prova do Cambissolo, sendo dezesseis amostras de cada uma das porcentagens, respectivamente 10, 20, 30, 40 e 50% de cimento CP II. Com relação ao Latossolo Vermelho, não foi possível moldar os corpos de prova devido ao fato dele ser um solo friável, dificultando sua trabalhabilidade e impossibilitando o desmolde. Por isso, só foi possível realizar o cisalhamento direto do solo Latossolo Vermelho *in natura*.

Foram realizadas a homogeneização do Cambissolo com as diferentes porcentagens de cimento CP II com a umidade ótima determinada no ensaio de Proctor normal. Após a homogeneização, colocou-se esta mistura no molde. A compactação do solo foi realizada com

o auxílio de um puxador de madeira, equipamento que acompanha os utensílios da máquina de cisalhamento direto, para a realização de todo procedimento de cisalhamento. Após a compactação, foi extraído o molde. O carro horizontal foi montado de acordo com o manual que acompanha o aparelho SOLOTEST®. Depositou-se a pedra porosa no fundo da célula e, em seguida, a placa ranhurada, de forma que as ranhuras estivessem perpendiculares ao sentido em que a amostra foi cisalhada.

Efetuaram-se os ajustes finais e regularam-se os relógios extensômetros que medem o deslocamento horizontal e a pressão exercida. Adicionaram-se os pesos na alavanca de carregamento de acordo com o que se previa simular, ou seja, 7, 11, 15 e 19 kg, nivelando-os com auxílio do batente roscado. Assim, iniciou-se o teste e a leitura das medições. A Equação 1 foi utilizada para obter a tensão normal (kPa)

$$\sigma = 100 \frac{F}{A} \quad (1)$$

em que:

σ : Tensão Normal (kPa);

F: Força exercida por um peso (kgf);

A: Área (cm²).

A Equação 2 foi utilizada para obter a Tensão Máxima (kPa)

$$\sigma = \frac{2293,58D}{A} \quad (2)$$

em que:

σ : Tensão Normal (kPa);

D: Deslocamento horizontal da carretilha (mm);

2293,58: Constante média do Anel de Marshall (kgf/mm);

A: Área (mm²).

A análise estatística consistiu do teste de normalidade de *Kolmogorov-Smirnov*. Para os resultados que apresentaram normalidade foi realizada a análise de variância (ANOVA) com um nível de significância de 5%. Também se utilizou o teste *Tukey* para comparações

múltiplas com o mesmo nível de significância. Para os resultados que não apresentaram normalidade foi conduzido o teste não paramétrico de *Kruskal-Wallis*.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 e relata as umidades médias determinadas no ensaio de Proctor normal, para os dois solos Cambissolo e Latossolo Vermelho.

Tabela 1 – Umidades determinadas dos solos estudados

Solos	Umidade Média (%)				
Cambissolo	25,68	26,34	26,40	27,99	29,77
Latossolo	18,21	22,19	25,53	28,82	30,42

Fonte: Autores (2018).

A umidade ótima determinada do Cambissolo foi de 26,40 % enquanto no Latossolo foi de 30,42%.

A Tabela 2 apresenta o peso específico após a secagem e a umidade ótima de ambos os solos.

Tabela 2 – Peso Específico Seco (g/cm³)

Solos	Umidade Média %	Peso Esp. Seco (g cm ⁻³)
Cambissolo	26,40	1,47
Latossolo	30,42	1,38

Fonte: Autores (2018).

O Latossolo Vermelho, por possuir uma maior porcentagem de argilas nas suas partículas, apresentou uma umidade maior e um peso específico seco menor. Este resultado está de acordo com Braida *et al.* (2006) que afirmam que à medida em que o diâmetro das partículas diminui, a área superficial e suas propriedades relacionadas aumentam significativamente com maior capacidade de retenção de água e maior capacidade das partículas se manterem unidas como pequenos agregados.

A análise de variância realizada para a resistência média do solo Cambissolo com adição de cimento apresentou significância estatística (Valor P <0,0001), ou seja, existem diferenças entre os tratamentos analisados. A Tabela 3 mostra o resultado do teste *Tukey* para as comparações múltiplas entre os tratamentos avaliados.

Tabela 3 – Valores médios de resistência (MPa) em função da porcentagem de cimento - Cambissolo

Fator	Médias *
50	22,27 a
40	19,65 b
30	14,05 c
20	9,66 d
10	6,77 e
0	1,36 f

*Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey para um nível de significância de 5%.

Fonte: Autores (2018).

No ensaio de compressão axial do solo Cambissolo, foi observado que a resistência do corpo de prova com a adição de 50% de cimento teve um aumento de aproximadamente dezesseis vezes maior que o solo natural. Este resultado é compatível com Hossain e Mol (2011) ao afirmarem que o processo de estabilização do solo com cimento melhora suas propriedades, tornando-o capaz de suportar uma carga maior. Os efeitos da adição de cimento no solo podem ser também observados na Figura 4.

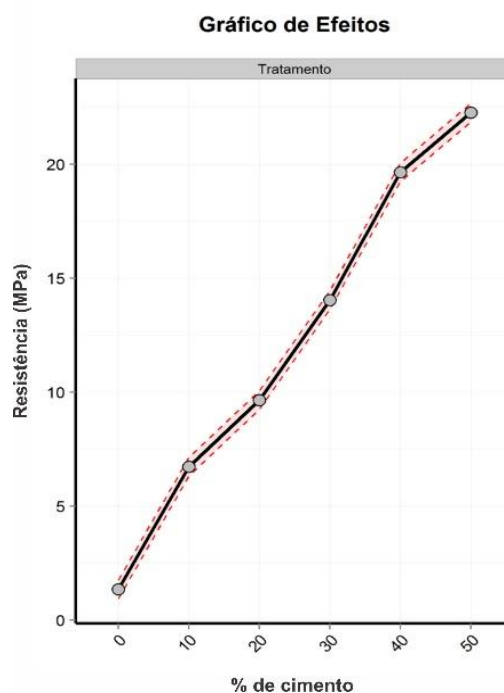


Figura 5 – Efeitos para resistência em função da porcentagem de cimento Cambissolo
Fonte: Autores (2018).

Por meio da análise da Figura 5, observa-se que a partir de 40% de adição de cimento CP II a curva declina-se, o que sugere um menor aumento de resistência com a adição continuada de cimento.

A análise de variância revelou que houve diferença significativa entre a resistência média do Latossolo Vermelho ao se variar a porcentagem de adição de cimento (Valor P < 0,0001), conforme se observa na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores médios de resistência (MPa) em função da porcentagem de cimento - Latossolo Vermelho

Fator	Médias *
50	29,51 a
40	26,76 b
30	20,91 c
20	15,36 d
10	9,52 e
0	3,34 f

*Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey para um nível de significância de 5%.

Fonte: Autores (2018).

Percebe-se que a resistência à compressão é crescente com o aumento da porcentagem de cimento adicionada ao corpo de prova, conforme a Figura 6. Este resultado também foi relatado por Mousavi e Wong (2015) ao afirmar que a estabilização da argila com cimento melhora as propriedades do solo.

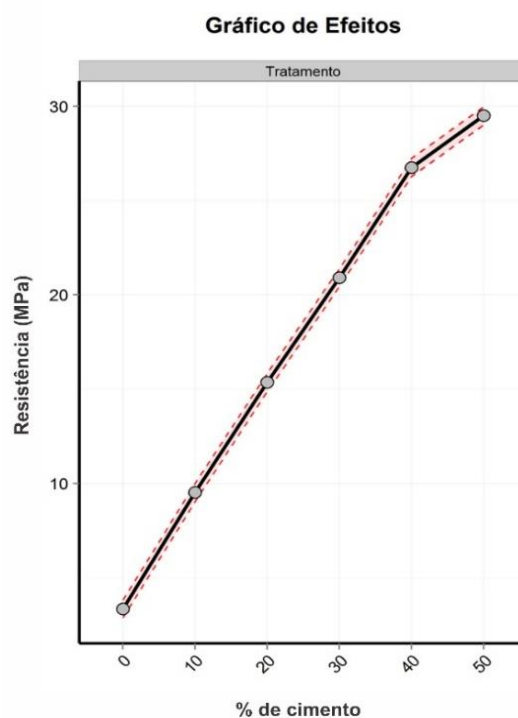


Figura 6 – Efeitos para resistência em função da porcentagem de cimento - Latossolo Vermelho
Fonte: Autores (2018).

Como foi observado para o caso do Cambissolo, percebe-se novamente um decréscimo na inclinação após a adição de 40% de cimento.

Como no ensaio de cisalhamento direto não se obteve normalidade para os pesos de 70 e 110 kgf, o resultado do teste de Kruskal-Wallis comprovou que não houve diferença entre os tratamentos realizados (Valor P = 0,14 e Valor P = 0,07, para os pesos 70 e 110 kgf respectivamente). Este resultado mostra que para os pesos supracitados, não faz diferença

adicionar ou não cimento ao solo. Sendo assim, não se recomenda adicionar cimento por uma questão de economicidade. Este resultado discorda de Wong et al. (2013), que ao trabalhar com adição de cimento contribuiu para forte ligação entre partículas que pode oferecer maior resistência ao cisalhamento do solo estabilizado.

Entretanto, quando submetido ao peso de 150 kgf, obteve-se significância estatística (Valor $P < 0,0001$), ou seja, existem diferenças na resistência de ruptura de acordo com a porcentagem de adição de cimento. A Tabela 5 mostra o resultado para as diferentes porcentagens de cimento.

Tabela 5 – Valores médios de resistência (kPa) em função da porcentagem de cimento - Cambissolo com peso de 150 kgf

Fator	Médias*
50	9386,68 a
40	5755,18 b
30	5776,41 b
20	3504,07 bc
10	1125,54 c
0	828,23 c

*Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey para um nível de significância de 5%.

Fonte: Autores (2018).

Pela Tabela 5 percebe-se que a resistência ao cisalhamento direto é maior para a porcentagem de 50% de adição de cimento, sendo que para as porcentagens de 20, 30 e 40% são estatisticamente iguais. As menores resistências observadas foram para as porcentagens 20, 10 e 0%, que também não diferiram entre si ao nível de 5% de significância.

Para o solo Cambissolo submetido ao peso de 190 kgf, obteve-se significância (Valor $P < 0,05$). A Tabela 6 mostra o resultado obtido para as diferentes porcentagens de cimento.

Tabela 6 – Valores médios de resistência (kPa) em função da porcentagem de cimento - Cambissolo com peso de 190 kgf

Fator	Médias*
50	4268,60 a
40	2548,41 ab
30	2548,41 ab
20	1189,26 b
10	1019,36 b
0	870,70 b

*Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey para um nível de significância de 5%.

Fonte: Autores (2018).

Pela análise da Tabela 6 percebe-se que as resistências médias para as porcentagens 50, 40 e 30% são estatisticamente iguais e superiores às demais porcentagens testadas. Nesse caso, recomenda-se a adição de 30% de cimento por questões econômicas.

Com relação ao solo Latossolo, o teste foi realizado com o solo *in natura* devido ao fato de não ter sido possível confeccionar os corpos de provas devido às suas características. Confirmou-se a significância estatística (Valor P <0,0001), ou seja, há diferenças estatísticas entre as resistências ao cisalhamento para os diferentes pesos analisados.

A Figura 7 ilustra as resistências médias em função do peso em kgf para o Latossolo Vermelho.

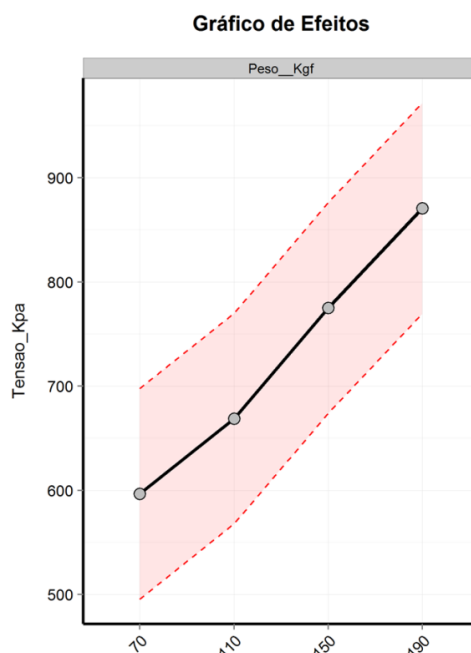


Figura 7 – Efeitos para a resistência em função do peso kgf - Latossolo Vermelho *in natura*
 Fonte: Autores (2018).

Ao adicionar os pesos correspondentes de 70 kgf, 110 kgf, 150 kgf e 190 kgf, percebe-se que à medida em que se aumenta a tensão sobre o solo, a água presente nele é eliminada, aumentando o atrito entre as partículas e, conseqüentemente, ocasionando aumento da resistência.

5 CONCLUSÃO

A partir da análise dos resultados obtidos, conclui-se que o Cambissolo é o solo que possui maior índice de silte na sua composição granulométrica, enquanto o Latossolo Vermelho se caracteriza por ser um solo mais argiloso. Em relação a umidade ótima, o Latossolo Vermelho apresentou absorção de água maior (30,42%) comparado com o Cambissolo (26,40%). De acordo com as propriedades físicas, pode-se certificar que quanto

maior for a quantidade de areia presente no solo, menor será a umidade ótima e maior será o seu peso específico.

Conforme os testes laboratoriais de compressão axial e cisalhamento direto, o Latossolo Vermelho mostrou-se mais resistente que o Cambissolo, por possuir partículas menores, com uma capacidade maior de expulsar água e ar das suas camadas. Assim, o Latossolo torna-se um solo resistente e capaz de absorver mais esforços nele solicitados, o que foi observado para todas as porcentagens de adição de cimento utilizadas no estudo.

Em relação à adição de diferentes porcentagens de cimento aos solos estudados, na compressão axial foi confirmado que a adição do cimento no solo aumenta sua resistência. Para o Cambissolo, ao se adicionar 50% de cimento, foi observado um aumento de resistência de compressão axial dezesseis vezes maior que o solo natural. Para o Latossolo Vermelho, esse aumento, mantida a mesma porcentagem de cimento, foi de aproximadamente nove vezes. Já em relação ao cisalhamento direto com adição de cimento, os resultados não foram significativos.

Com respeito ao cisalhamento direto do Latossolo *in natura*, foi verificado que eles elevaram sua resistência de acordo com o aumento do peso. Quando submetidos ao menor peso (70 kgf) resistiram a 597 KPa, e esta resistência foi crescente à medida que os pesos foram aumentando, chegando ao valor máximo de 870 KPa, quando submetidos ao maior peso (190 kgf). Esse resultado é de especial interesse, visto que o solo está apto para receber diversos esforços de tráfego.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. C. **Estruturas IV**: concreto armado. Campinas: Unicamp, 2002. 24 p.

ANJOS, L. H. C. *et al.* Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. In: Ker, J. C.; Curi, N.; Schaefer, C. E.; Torrado, P. V. (Eds.), **Pedologia**: fundamentos. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 6502. **Rochas e solos**. Rio de Janeiro, 1995. 18p.

BALBO, J. T. **Pavimentação asfáltica**: materiais, projeto e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 488 p.

BRAIDA, J. A. *et al.* Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 605-614, 2006.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996, 244 p.

CRUZ, M.; JALALI, S. **Melhoramento do desempenho de misturas solo-cimento**. In: CONGRESSO NACIONAL DE GEOTECNIA, 12., Guimarães. 2010. **Anais [...]**, Guimarães, p. 639-648, 2010.

DNIT/IPR-719/2006 - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes/Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de Pavimentação**. 3. Ed. Rio de Janeiro.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2016. Disponível em: <http://www.agrolink.com.br/downloads/sistema-brasileiro-de-classificacao-dos-solos2006.pdf>. Acesso realizado em 22 de dezembro de 2017.

HOSSAIN, K. M. A.; MOL, L. Some engineering properties of stabilized clayey soils incorporating natural pozzolans and industrial wastes. **Construction and Building Materials**, v. 25, n. 8, p. 3495-3501, 2011.

MOUSAVI, S.; WONG, L. S. Performance of compacted and stabilized clay with cement, peat ash and silica sand. **Jordan Journal of Civil Engineering**, Ar-Ramtha, Amsterdam, v. 9, n. 1, 2015.

PETRUCCI, E. G. R.; PAULON, V. A. **Concreto de cimento Portland**. 14. ed. Porto Alegre: Globo, 2005. 307p.

PINHEIRO, L. M. **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios**. São Carlos: USP/EESC, 2007. 380 p.

PINTO, C. S. **Curso básico de mecânica dos solos**. 3. ed. São Paulo. Oficina de textos, 2006. 368 p.

SENÇO, W. **Manual de técnicas de pavimentação**. 2. ed. São Paulo, Pini, 2007, v.1, 761 p.

SOUZA JUNIOR, T. F. **Tecnologia e qualidade do material concreto em construções agroindustriais**. 2004. 215 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

WONG, L. S.; HASHIM, R.; ALI, F. Improved strength and reduced permeability of stabilized peat: Focus on application of kaolin as a pozzolanic additive. **Construction and Building Materials**, Kuala Lumpur, Amsterdam, v. 40, p. 783-792, 2013.

DADOS DOS AUTORES

Cláudia Borges

E-mail: claudiaeng31@gmail.com

Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6034096869856208>

Graduada em Engenharia Civil pelo Centro Universitário de Lavras-UNILAVRAS. Técnica em Agricultura e Zootecnia, pelo Instituto Federal do Sul de Minas Gerais - Campus Machado (IFMG). Atualmente é sócia e proprietária da empresa CTL Engenharia e Consultoria.

Adriano Rodrigues

E-mail: adrianorodrigues@unilavras.edu.br

Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2700607067214813>

Doutorado em Estatística Aplicada e Experimentação Agropecuária pelo Universidade Federal de Lavras - UFLA. Atualmente é professor e pesquisador no Centro Universitário de Lavras - UNILAVRAS

Pedro Luiz Terra Lima

E-mail: pedroterralima@yahoo.com.br

Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7321236487353585>

Doutorado em Ciência de Ambiente Tropicais pela University of Lancaster, doutorado em Ciência do Solo, mestrado em Recursos Hídricos e graduação em Engenharia Agrícola pela UFLA. Atualmente é pesquisador na University of California Davis.