

Efeitos da Adição de Cinza da Casca de Eucalipto e Cimento no Comportamento Mecânico de Solos Tropicais Lateríticos

Effects of the Addition of Ash of the Peel of Eucalyptus and Cement in the Mechanical Behavior of Lateritic Tropical Soils

Aryana Santiago Cruz¹, Hellen Carolina Rodrigues Ferreira², Victor Scartezini Terra³

Resumo

O solo é um material bastante comum na construção civil, um dos primeiros materiais usados, que é facilmente encontrado e de várias classificações. O eucalipto, desde o princípio, era utilizado na construção de móveis, produção de papel, de carvão, entre outros, processos esses, que geram resíduos em seu processo de produção. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo verificar a viabilidade da adição de cinza de casca de eucalipto (CCE) e cimento no solo, para aplicação em camadas de pavimentos. Para isso foram realizados ensaios de caracterização, compactação (Proctor Intermediário) e índice de suporte Califórnia (ISC ou CBR) para um solo residual típico da cidade de Rio Verde/GO. Foram realizados também ensaios de compactação e ISC para misturas solo-CCE (5%, 10% e 20% de substituição em massa), solo-cimento (2,5% e 5% de substituição em massa) e solo-cimento-CCE (2,5% e 5% de substituição em massa de cimento, e 10% de substituição em massa de CCE), para avaliar a influência da CCE no comportamento mecânico do solo no que tange à expansibilidade e resistência à penetração do mesmo. Todos os ensaios foram realizados de acordo com as respectivas normas brasileiras em vigor. Os resultados indicam que o solo utilizado na pesquisa pode ser classificado como areia argilosa (SC) pelo SUCS e como A6 pelo sistema rodoviário de classificação. No ensaio de Proctor com energia intermediária de compactação, o mesmo apresentou umidade ótima de 19,85% e massa específica aparente seca máxima de 1,689 g/cm³. Com os ensaios realizados, a compactação com 20% de adição de CCE apresentou melhor

¹ arysantiagoc@gmail.com, Acadêmica, Universidade de Rio Verde, Faculdade de Engenharia Civil.

² hellencarolina@outlook.com, Acadêmica, Universidade de Rio Verde, Faculdade de Engenharia Civil.

³ victorzini@gmail.com, Mestre, Universidade de Rio Verde, Faculdade de Engenharia Civil.

resultado no comportamento mecânico do solo. Com relação ao ensaio com substituição em massa de 10% não se pode obter resultados conclusivos, pois esse ensaio deve ser refeito com mais pontos de compactação e diferentes teores de umidade ótima. Os ensaios com misturas solo-cimento obtiveram maiores resistências à penetração. Com a adição de CCE nestas misturas, apesar de acarretarem na redução destas resistências, resultam em grandes melhorias no CBR quando comparados com o solo de referência.

Palavras-chave: Solo laterítico. Mistura solo-cinza da casca de eucalipto. Mistura solo-cimento. Cinza de casca de eucalipto. Compactação. Índice de suporte Califórnia.

1. Introdução

No Brasil, o eucalipto é cultivado e exportado para outros países, sendo utilizado na produção de papel, carvão vegetal, painéis de aglomerados de madeira (MDF), entre outros. A cinza da casca de eucalipto (CCE) é um resíduo agroindustrial decorrente do processo da queima da casca da madeira de eucalipto retirada de caldeiras. É uma biomassa que consiste em uma mistura de minerais, carbono orgânico e sílica, que não foram totalmente queimados.

O estado de Goiás é o estado que mais cresce no setor de florestas plantadas, devido a sua extensa área territorial, condições de clima e solo favoráveis e principalmente pela demanda de produtos de base florestal (serrarias, construção civil, embalagens, etc.) (EMBRAPA, 2015). O município de Rio Verde/GO destaca-se como maior produtor de lenha oriunda de plantações florestais do estado (IBGE, 2014). Atualmente o eucalipto é o gênero mais plantado, usado para fins energéticos (lenha e carvão vegetal para suprir demandas de caldeiras, secadores de grãos, indústrias de cerâmicas e fornos de mineradoras).

As cascas das árvores dos eucaliptos já foram consideradas como um resíduo ou como um fator de aborrecimento nos processos industriais. Em um novo momento, a fim de resolver o problema de acúmulo de resíduos nas fábricas, a casca de eucalipto foi colocada como uma provável matéria prima, tendo sua utilização em diversos segmentos da indústria.

A geração de resíduos agroindustriais tem se tornado cada vez mais preocupante diante dos descartes incorretos, e por isso, torna-se importante o estudo de soluções que visem o reaproveitamento desses materiais. Dessa forma, o setor da construção civil

consegue incorporar resíduos dessa natureza como matéria prima (ROCHA; CHERIAF, 2003).

As cinzas oriundas de diferentes atividades como da casca de arroz, do bagaço de cana etc, vêm se destacando nos estudos por possuir altas porcentagens de sílica e apresentar características pozolânicas. Segundo a NBR 12653(ABNT, 2014) os materiais pozolânicos são materiais silicosos ou silicoaluminosos que, por si só, possuem pouca ou nenhuma atividade aglomerante, mas que, quando divididos e na presença de água, reagem com hidróxido de cálcio à temperatura ambiente para formar compostos com propriedades aglomerantes. Também conhecida por sua alta resistência mecânica, facilidade de preparação, moldagem e baixo custo, estas que podem atuar fisicamente sem reatividade possuem a capacidade de reagir com o hidróxido de cálcio liberado durante o processo de hidratação do cimento, formando compostos estáveis de poder aglomerante, podendo ser empregadas como adição mineral para que possa produzir novos materiais de construção sustentáveis (OLIVEIRA, 2004).

Bravo (2013) cita três motivos para a importância da estabilização de solos com resíduos: o baixo custo de aquisição dos resíduos, sendo que os mesmos não possuem muita aplicabilidade; redução do uso de agentes cimentantes, reduzindo custos, trata-se de processos que na maioria das vezes desconsideram a possibilidade de uso; e reuso dos resíduos gerados, como acontece em usinas, siderúrgicas, pedreiras, etc.

Encontram-se na literatura diversos trabalhos que envolvem adições de resíduos em solos, argamassas e concretos. A pesquisa de Bravo (2013) avaliou os efeitos da adição de cal, cinza da casca de arroz e microssílica na estabilização de um solo mole. A autora realizou ensaios de tração por compressão diametral com teores pré-determinados de material estabilizante, com 100 e 200 kg/m³ e concluiu que de todas as dosagens ensaiadas o solo apresentou maior resistência quando foi dosado com 200 kg/m³ de material estabilizante com microssílica.

Marins (2015) realizou um estudo para avaliar os efeitos da adição da cinza do caroço de açaí (CCA), em formulações de cerâmica estrutural. Realizaram-se vários ensaios com diferentes percentuais de rejeitos em até 15% em peso, os corpos de prova foram prensados e queimados nas temperaturas de 950°C, 1050°C e 1150°C. O autor chegou a conclusão que teores da ordem de 15% de cinza a 1050°C tem um resultado satisfatório na melhoria das propriedades mecânicas do solo.

Dentre estudos realizados sobre o assunto, Tashima (2006) destaca que a cinza da casca de arroz vem recebendo uma atenção especial devido ao alto teor de polozana encontrado no material, podendo ser superior a 90%, entretanto algumas investigações também apontam as cinzas de bagaço de cana-de-açúcar podendo ter o mesmo poder de utilização, requerendo estudos mais aprofundados.

1.2 Objetivos

Esse trabalho apresenta como objetivo geral avaliar os efeitos da adição de cinzas da casca de eucalipto e misturas cimento-cinza de casca de eucalipto no comportamento mecânico de um solo tropical típico da cidade de Rio Verde/GO. Além disso, pode-se citar como objetivos específicos:

- Realizar ensaios de caracterização para um solo típico de Rio Verde;
- Realizar de ensaios de compactação, expansão e índice de suporte Califórnia (ISC ou CBR) para um solo típico de Rio Verde e para misturas solo-cimento e solo-cimento-CCE.

2. Material e métodos

O presente trabalho é dividido em duas etapas. A primeira etapa consiste nos ensaios realizados em laboratório e a segunda etapa se trata da análise dos resultados obtidos a partir dos ensaios realizados.

2.1 Materiais

Nesta pesquisa foram utilizados três materiais diferentes para a execução dos ensaios: solo, CCE e cimento Portland.

O solo utilizado consiste em um solo residual laterítico típico da cidade de Rio Verde proveniente de uma jazida localizada nos arredores da cidade, retirado da área superficial do talude, apresentada na Figura 1.

(a)



(b)



Figura 1 – Solo coletado para o estudo: (a) Localização via Google Maps, e (b) Jazida utilizada para extração
Fonte: Autores (2018)

A CCE utilizada nos ensaios foi fornecida por uma usina nos arredores de Rio Verde/GO, que apresenta um alto teor de matéria orgânica, o que diminui com a queima da cinza, que não foi realizada nesta pesquisa, pois a queima resulta na perda significativa de material, de modo que a realização da queima reduziria a quantidade de material disponível impossibilitando a realização de todos os ensaios. A CCE é proveniente da queima do eucalipto que é plantado nas proximidades da cidade de Rio Verde/GO.

O cimento usado foi fornecido pelo Laboratório de Engenharias da UniRV, sendo ele do tipo CII – F40, que segundo a NBR 16697 (ABNT, 2018) é do tipo para uso e aplicação de modo geral, sendo ele ideal para utilizar em estruturas de concreto armado, pavimentos de concreto, argamassa de chapisco, assentamento de blocos, revestimento, piso e contrapiso, entre outros. A Figura 2 apresenta os três materiais utilizados na pesquisa.



Figura 2 – Material usado nos ensaios: solo-cinza-cimento

Fonte: Autores (2019)

2.2 Programa experimental

Em laboratório foram determinadas as principais características físicas da cinza da casca de eucalipto por meio de ensaios de granulometria NBR 3310 (ABNT, 2010), massa específica conforme a norma NBR 16605 (ABNT, 2017a), e umidade natural.

Foram realizados os ensaios de caracterização do solo por meio das análises granulométricas, conforme a NBR 7181 (ABNT, 2016a), da obtenção dos limites de liquidez, conforme NBR 6459 (ABNT, 2017a), de plasticidade conforme NBR 7180 (ABNT, 2016b), e da obtenção do peso específico dos grãos, conforme a NBR 6458 (ABNT, 2017b). Com os dados obtidos nos ensaios de caracterização o solo foi classificado conforme o sistema unificado (SUCS) e rodoviário (HRB).

Os ensaios de compactação foram executados conforme a NBR 7182 (ABNT, 2016c) com energia intermediária de compactação, a energia mais comum em obras de pavimentação rodoviária. Os ensaios de expansão e índice de suporte Califórnia (ISC ou CBR) foram realizados conforme a norma do NBR 9895 (ABNT, 2017c).

Na primeira etapa foram realizados três ensaios compostos por solo-CCE adotando-se os teores de 5%, 10% e 20% de adição de CCE, considerando substituição em massa.

Com os resultados obtidos mediante os ensaios realizados, na segunda etapa foram realizados mais dois ensaios usando as dosagens de CCE 10% com adição de 5% e 2,5% de cimento Portland e em seguida na terceira etapa foram realizados dois ensaios com

mistura solo-cimento, com teores de 2,5%, 5,0% na substituição em massa de cimento no solo. A Tabela 1 organiza todos os ensaios de compactação e CBR que foram realizados.

Tabela 1 – Resumo de ensaios de compactação realizados na pesquisa.

Ensaio	% Solo	% CCE úmido (real)	(% CCE % Cimento)	Execução do CBR
1	100	0	0	Após 4 dias de submersão
2	80	20 (6,50)	0	Após 4 dias de submersão
3	90	10 (3,25)	0	Após 4 dias de submersão
4	95	5 (1,44)	0	Após 4 dias de submersão
5	85	10,00 (2,31)	5	Após 7 dias sem submersão
6	87,5	10 (--)	2,5	Após 7 dias sem submersão
7	95	0	5	Após 7 dias sem submersão
8	97,5	0	2,5	Após 7 dias sem submersão

Fonte: Autoria própria (2018)

3. Resultados e discussões

3.1. Caracterização da cinza de casca de eucalipto e do solo estudado

A elevada umidade é uma característica da CCE. Na execução dos ensaios de compactação foi utilizada a cinza no estado natural (com umidade). A Tabela 2 apresenta os teores de umidade da cinza durante a execução de cada ensaio. A umidade média das cinzas em cada ensaio variou de 206,24% até 333,04%.

Tabela 2 – Umidade média da CCE em cada ensaio de compactação.

Ensaio	Teor de umidade da CCE (%)
1	---*
2	206,24
3	207,59
4	259,67
5	333,04
6	--**
7	---*
8	---*

* ensaios sem utilização de CCE

** ensaio sem obtenção da umidade média por falha executiva

Fonte: Autoria própria (2018)

Com realização ao ensaio para obtenção da massa específica da CCE, realizado conforme a NBR 16605 (ABNT, 2017a), a massa específica do material é de aproximadamente 1,970 g/cm³.

A Figura 3 apresenta as curvas granulométricas, com e sem defloculante, do solo estudado, além da curva granulométrica da CCE, obtida por sedimentação. Com relação à classificação granulométrica do solo, tanto no ensaio realizado com agente dispersante, como no ensaio realizado sem agente dispersante, o solo pode ser classificado como uma areia argilosa.

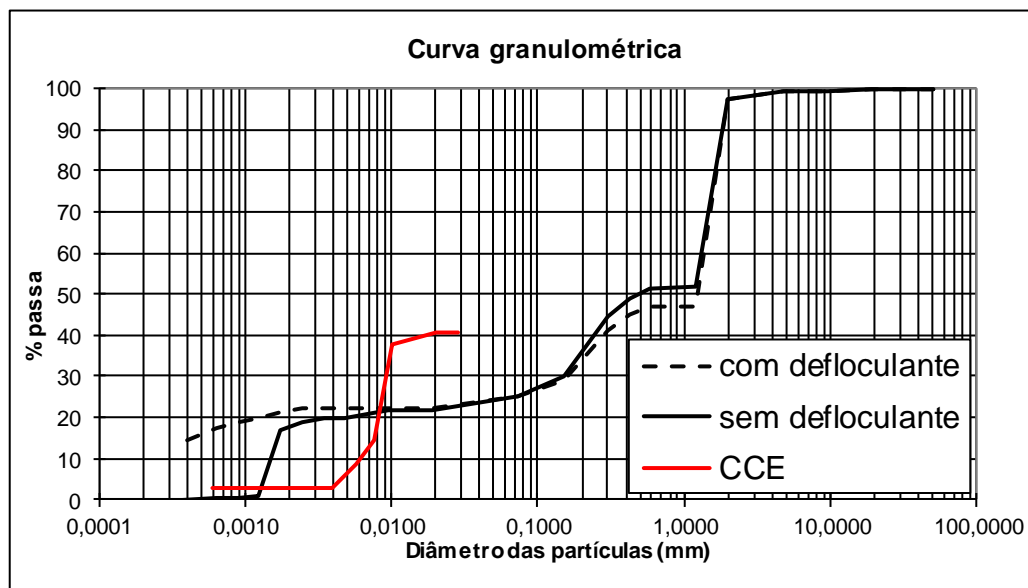


Figura 3 – Curva granulométrica do solo em estudo.
Fonte: Autores (2018)

A Tabela 3 apresenta os dados de caracterização do solo ensaiado no laboratório. De acordo com o sistema unificado de classificação dos solos (SUCS), o solo estudado é classificado como SC (areia argilosa), assim como a obtida pela classificação granulométrica. Já a classificação HRB (*Highway Research Board*) do solo ensaiado é A6. Os solos do grupo A6 são conhecidos por apresentarem grande variação volumétrica entre os estados seco e úmido.

Tabela 3 – Caracterização do solo ensaiado.

ρ_s (g/cm ³)	%#200 (com defloculante)	%#200 (sem defloculante)	LL	LP	IP	Classificação	
						SUCS	HRB
2,74	28,17	24,95	33,6	13,7	19,8	SC	A6

Fonte: Autores (2018).

3.3 Ensaios de compactação

Além dos ensaios de caracterização, foram realizados ensaios de compactação, expansão e CBR com o solo e com misturas solo-cimento-CCE. A Figura 4 apresenta os resultados do ensaio de compactação do solo sem adição e com adições de CCE, realizados com energia de Proctor Intermediário. No apêndice A desse artigo encontram-se as curvas de ajuste com os pontos experimentais de cada ensaio realizado.

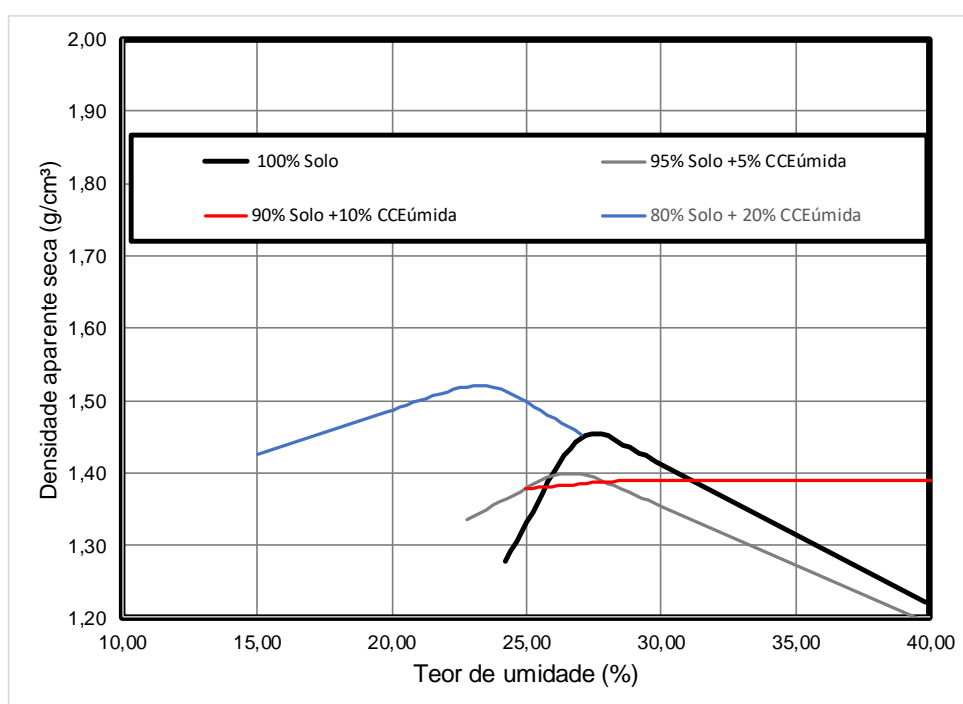


Figura 4 – Curva de compactação do solo sem adição.

Fonte: Autores (2019)

Observa-se que no ensaio com substituição em massa de 20% de CCE úmida a massa específica aparente máxima aumentou e a umidade ótima de compactação diminuiu quando comparado com o ensaio original (solo sem adições). Este resultado é positivo,

apesar de não ser o esperado, pois indica que tal teor de CCE contribui para o aumento da densidade máxima do solo compactado. Já no ensaio com substituição em massa de 5% de CCE úmida observou-se a redução da densidade aparente máxima do solo com relação ao ensaio sem adições, o que indica que a adição de tal teor de CCE não traz resultados positivos para densidade do solo compactado.

Ainda de acordo com a Figura 4, observa-se que a curva de compactação obtida no ensaio com adição em massa de 10 % de CCE úmida não foi obtida de forma adequada. Durante a execução deste ensaio, dos cinco pontos da curva de compactação, 4 obtiveram um teor de umidade relativamente próximos (entre 28% e 31%), de modo que a curva de compactação não pôde ser formada a partir dos pontos experimentais. O ensaio não foi refeito devido à falta de CCE disponível para a execução do ensaio.

3.3 Resultados dos ensaios de expansão e CBR

Estão representados na Figura 5 os resultados dos ensaios de CBR. Os valores de CBR para cada ensaio foram obtidos calculando-se as médias dos valores de CBR dos corpos de provas de compactação com umidade mais próxima da ótima.

De acordo com a Figura 5, quando se trata do solo apenas com adição de CCE, quanto maior for a porcentagem de substituição de CCE, maior será o valor de ISC. Quando se trata da adição de cimento, pode-se observar que houve um ganho muito significativo na adição de 10% de CCE e 2,5% de cimento, apresentando melhor índice de resistência à penetração na umidade ótima, atingindo um CBR de 96,70%. Em todos os casos observou-se que o ISC na umidade ótima de compactação foi superior ao índice de suporte Califórnia do ensaio sem adição (CBR=6,55%), embora no ensaio com menos adição de CCE o valor do CBR ficou levemente superior (6,70%), indicando que não há melhorias significativas na resistência à penetração do solo neste caso.

Ainda de acordo com os resultados obtidos na Figura 5 observou-se que os melhores resultados aconteceram nos ensaios com misturas solo-cimento, onde o CBR atingiu 197,50% no ensaio com substituição em massa de 5% de cimento, e 172,65% no ensaio com substituição em massa de 2,5% de cimento. Nos ensaios com mistura solo-cimento-CCE, observou-se grande melhoria no CBR com relação aos valores obtidos nos ensaios envolvendo misturas solo-CCE, mas redução dos valores de CBR quando comparados com os ensaios envolvendo misturas solo-cimento.

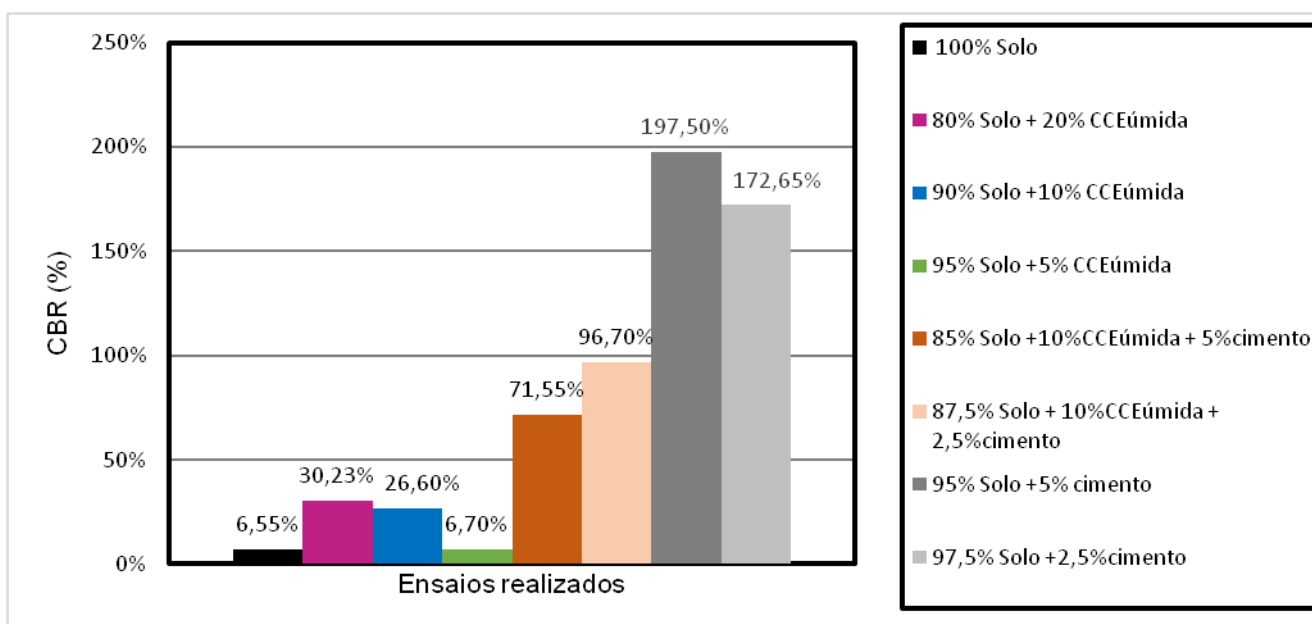


Figura 5 – Índices de suporte californiano para a umidade ótima de compactação dos ensaios realizados.

Fonte: Autores (2019)

Segundo Ribeiro Júnior (2006), a expansão de um solo condiz com a variação de volume resultante da mudança de umidade ou sucção. O fenômeno de expansão dos solos é muito complexo, envolvendo uma série de fatores que influenciam e interagem entre si, que são compostos por argilas (argilomineral) e de fatores ambientais (clima da região, natureza do fluido, grau de saturação do solo). A Figura 6 apresenta os resultados de expansão obtidos nos ensaios com adição de CCE. Observa-se que em todos os ensaios obteve-se uma expansão inferior a 0,5% e nos ensaios que foram adicionados 10% e 20% de CCE o solo teve sua expansão reduzida, enquanto que adicionado 5% de CCE a expansão aumentou ultrapassando a expansão do solo natural. Nota-se que com adição de teores acima de 10% a CCE contribui para uma leve melhora do solo.

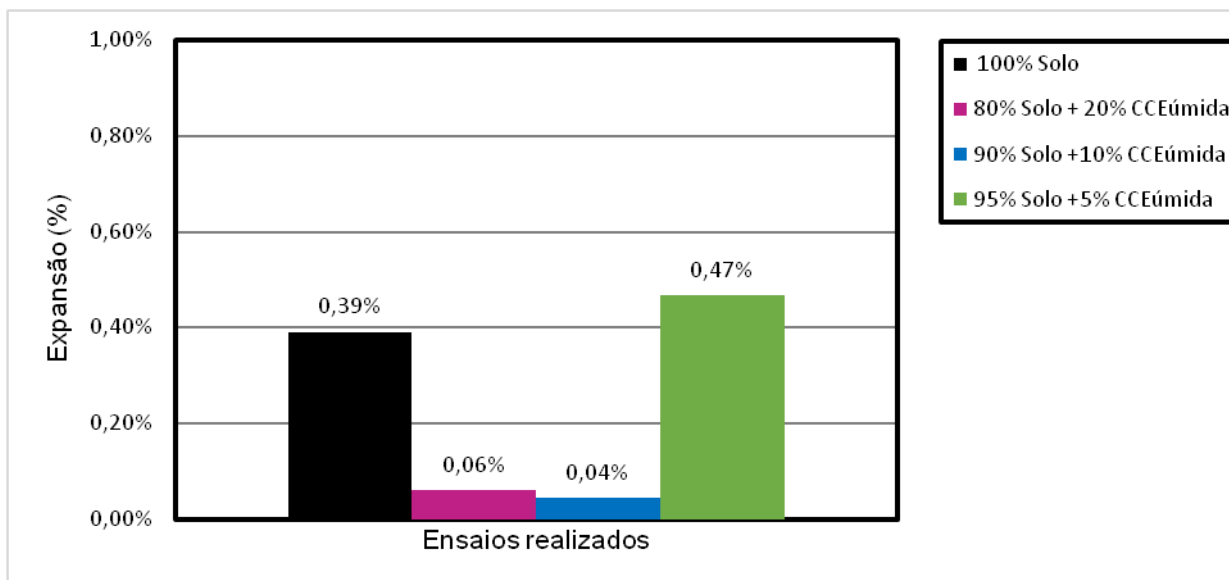


Figura 6 – Expansão medida nos ensaios realizados com adição de CCE.
Fonte: Autores (2019)

De acordo com o manual do DNIT (2006) para pavimentação apresentado na Tabela 4, o solo sem adição poderia ser utilizado nas camadas de subleito ou reforço do subleito, pois apresentou CBR igual a 6,55% e expansão de 0,39%. Nos ensaios envolvendo misturas solo-CCE com substituição em massa de 10% e 20% de CCE, os resultados indicaram que o solo pode ser utilizado em camadas de sub-base do pavimento. Nos ensaios envolvendo a mistura solo-cimento-CCE com substituição em massa de 2,5% de cimento e 10% de cinza, assim como nos ensaios com misturas solo-cimento, os resultados indicaram que tais misturas poderiam ser utilizadas nas camadas de base do pavimento.

Tabela 4 – Índice de CBR segundo DNIT

Camadas	CBR	Expansão
Base	80% \geq	0,5% \leq
Sub-base	20% \geq	1% \leq
Reforço	> Subleito	1% \leq
Sub-leito	2% \geq	2% \leq

Fonte: Manual de pavimentação - DNIT (2006)

4. Conclusões

A partir da análise dos resultados sobre o comportamento do solo quando adicionado CCE, dentro das limitações apresentadas, os resultados dos ensaios de compactação realizados mostraram que o ensaio com 20% de adição de CCE resulta de forma benéfica no comportamento mecânico do solo, enquanto o ensaio com 5% de CCE não apresentou mudanças significativas no solo, em termos de resistência à penetração e expansão. Com relação ao resultado do ensaio com substituição em massa de 10% de CCE, não se pode obter um resultado conclusivo, pois este ensaio deve ser refeito com mais pontos de compactação com diferentes teores de umidade.

Com relação à influência das adições de cimento e CCE nos resultados de índice de suporte californiano, conclui-se que os ensaios com misturas solo-cimento obtiveram maiores resistências e que a adição de CCE nestas misturas, apesar de acarretarem na redução destas resistências, resultam em grandes melhorias no CBR quando comparados com o solo de referência. Portanto o custo envolvido na adoção de misturas solo-cimento pode ser reduzido com a adição de CCE, ao mesmo tempo que oferece uma solução para a destinação destes resíduos.

Com relação a expansão, apesar da adição de 5% de CCE ter resultado em um aumento da expansão, em todos os ensaios obtiveram-se valores inferiores a 0,5% estando de acordo com os limites estabelecidos no Manual de Pavimentação do DNIT.

Pode-se concluir com os ensaios executados que com adições de 10% de CCE + 5% de cimento e 10% de CCE + 2,5% de cimento que quando se leva em conta a execução de terraplanagem, não convém, pois isso pode gerar gastos ao se adicionar cimento e não atingirão resultados tão bons quanto o esperado.

O presente trabalho conclui que a adição da cinza da casca de eucalipto no solo é viável tecnicamente, além de ter um potencial econômico e sustentável.

Deve-se ressaltar que a CCE utilizada nos ensaios continha certa quantidade de matéria orgânica, referente a fibras vegetais que não foram queimadas completamente. Uma sugestão para redução do teor de matéria orgânica é fazer a requeima da CCE, que além de eliminar a matéria orgânica do resíduo, pode aumentar as propriedades pozolânicas do material. Por outro lado, a requeima também ocasiona em perda significativa de material. Como a quantidade de CCE disponível para realização dos ensaios foi limitada, optou-se por não fazer a requeima.

Como sugestão para trabalhos futuros recomenda-se:

- Realizar mais ensaios com outros teores de CCE para melhor compreender o efeito deste resíduo nos solos;
- Realizar mais ensaios após a requieima da CCE para verificação e melhor compreensão dos efeitos da cinza no comportamento mecânico do solo.

Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 12653**: Materiais Pozolânicos. Rio de Janeiro, 1992.

____ - ABNT. **NBR 16697**: Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

____ - ABNT. **NBR 3310**: Peneiras para ensaio com tela de tecido metálico. Rio de Janeiro, 2010.

____ - ABNT. **NBR 7181**: Análise granulométrica de solos. Rio de Janeiro, 2016.

____ - ABNT. **NBR 16605**: Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.

____ - ABNT. **NBR 6459**: Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 2017.

____ - ABNT. **NBR 7180**: Solo – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016.

____ - ABNT. **NBR 6458**: Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água Rio de Janeiro, 2017.

____ - ABNT. **NBR 7182**: Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 2016.

____ - ABNT. **NBR 9895**: Solo – Índice de suporte Califórnia (ISC) – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2017.

BRAVO, M.D. **Estabilização de um solo mole orgânico: avaliação da variação de resistência com o acréscimo de cal, cinza da casca de arroz e microssílica**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

EMBRAPA. **Diagnóstico do Setor de Florestas Plantadas no Estado de Goiás**. 1.ed. Brasília, DF: EMBRAPA-SP, 2015. 67 p. Marins, L.F.B. **Incorporação da cinza do caroço de açaí em formulações de cerâmica estrutural**. Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará – FEMAT/UNIFESSPA, 2014.



Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes – DNIT: IPR 719: Manual de Pavimentação. 3 ed. Rio de Janeiro, RJ. 278 p. IPR, 2006.

IBGE. **Produção da extração vegetal e da silvicultura.** Rio de Janeiro, 2014. v. 29.

Marins, L.F.B. **Incorporação da cinza do caroço de açaí em formulações de cerâmica estrutural.** Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará – FEMAT/UNIFESSPA, 2014.

OLIVEIRA, M.P. **Estudo do caulim calcinado como material de substituição parcial do cimento Portland.** Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2004.

RIBEIRO JUNIOR, I., CONCIANI, W. Controle do solo saprolítico de filito com cal hidratada cálcica para construções populares. In: **SEMINÁRIO MATO-GROSSENSE DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL**, I. 2006, Cuiabá, Anais eletrônicos CD-ROM, Cuiabá: CEFET-MT/UFMT, 2006. 10p.

ROCHA, J. C., CHERIAF, M., **Aproveitamento de resíduos na construção.** Coleção Habitare: Utilização de Resíduos na Construção Habitacional, Porto Alegre, ANTAC, v. 4, 2003.

TASHIMA, M.M. **Cinza de casca de arroz altamente reativa: método de produção, caracterização físico-química e comportamento em matrizes de cimento Portland,** 2006. 81 f. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2006.

Apêndice A- Resultados dos ensaios de compactação

As figuras abaixo apresentam os resultados obtidos através do ensaio de compactação.

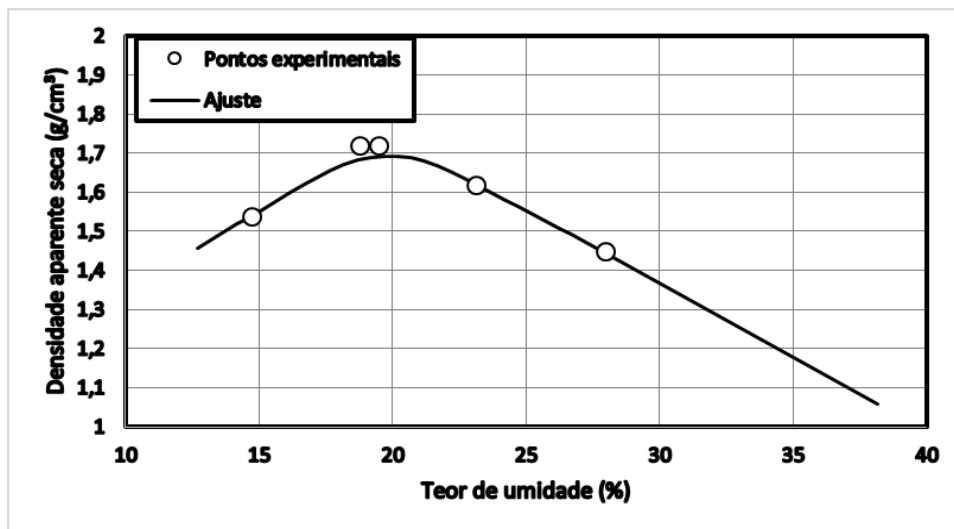


Figura A1. – Pontos experimentais e curvas de ajuste obtidas nos ensaios de compactação Proctor Intermediário do solo sem adição, obtendo umidade ótima de 19,850% e densidade de 1,689 g/cm³.

Fonte: Autoria própria(2019)

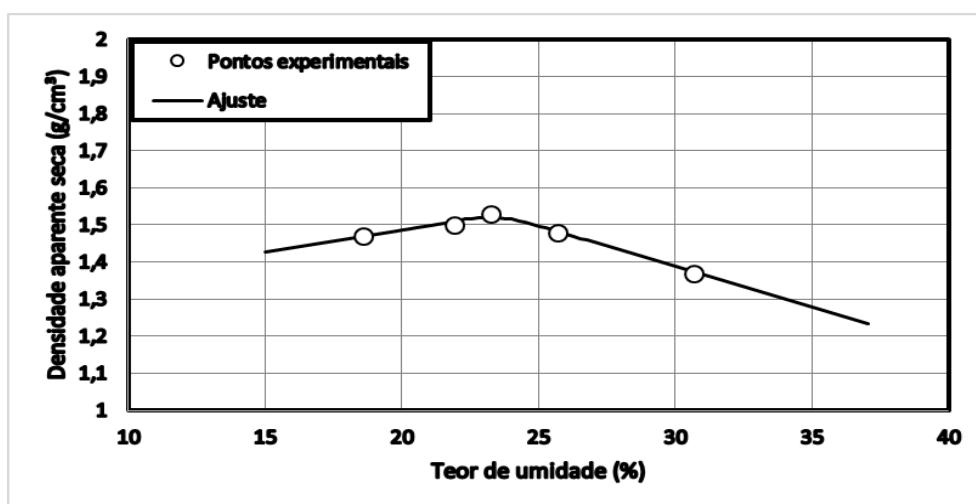


Figura A2. – Pontos experimentais e curvas de ajuste obtidas nos ensaios de compactação Proctor Intermediário com substituição em massa de 20% de CCE, obtendo umidade ótima de 23,18% e densidade de 1,520 g/cm³.

Fonte: Autoria própria(2019)

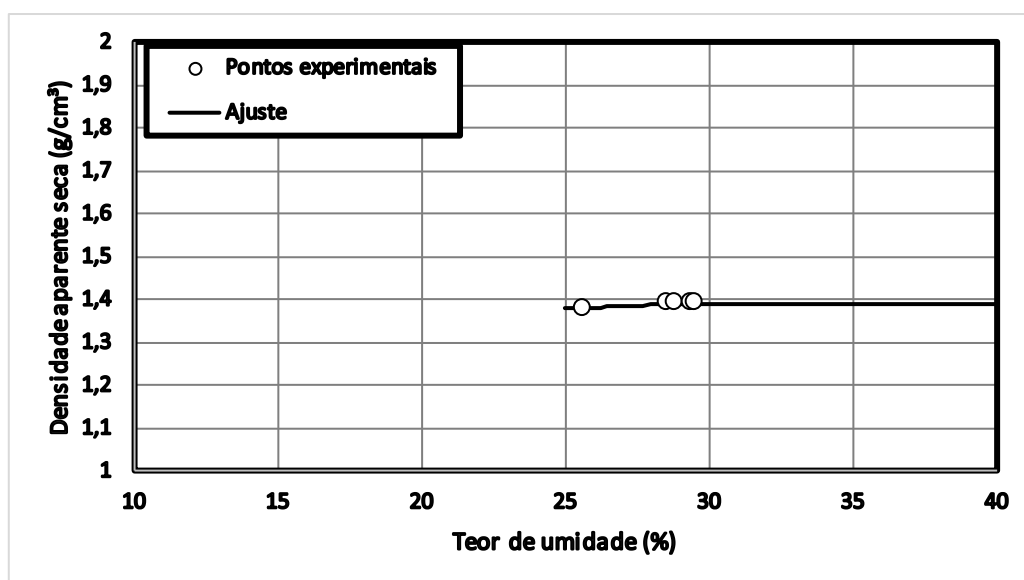


Figura A3. – Pontos experimentais e curvas de ajuste obtidas nos ensaios de compactação Proctor Intermediário com substituição em massa de 10% de CCE, obtendo umidade ótima de 28,55% e densidade de 1,390 g/cm³.

Fonte: Autoria própria(2019)

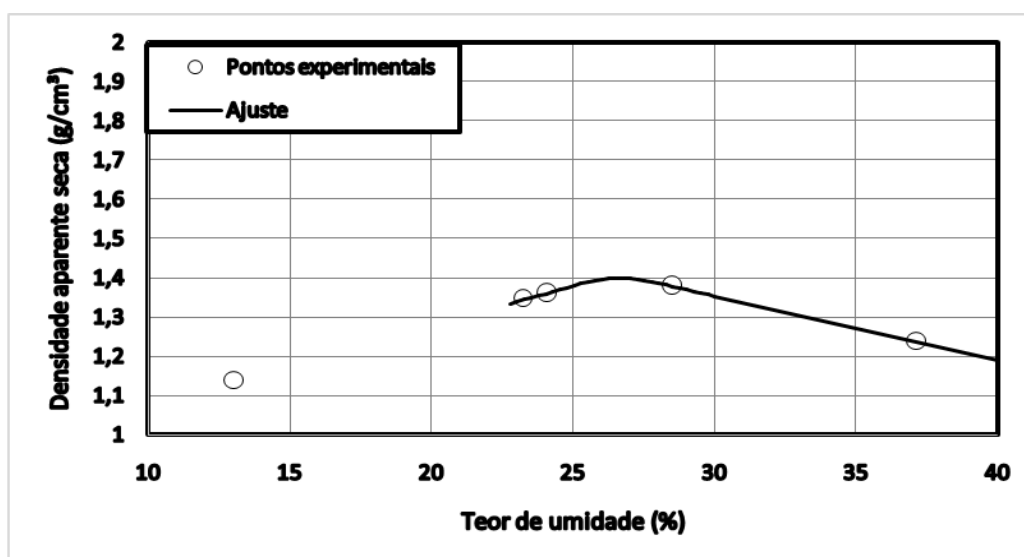


Figura A4. – Pontos experimentais e curvas de ajuste obtidas nos ensaios de compactação Proctor Intermediário com substituição em massa de 5% de CCE, obtendo umidade ótima de 26,67% e densidade de 1,399 g/cm³.

Fonte: Autoria própria(2019)

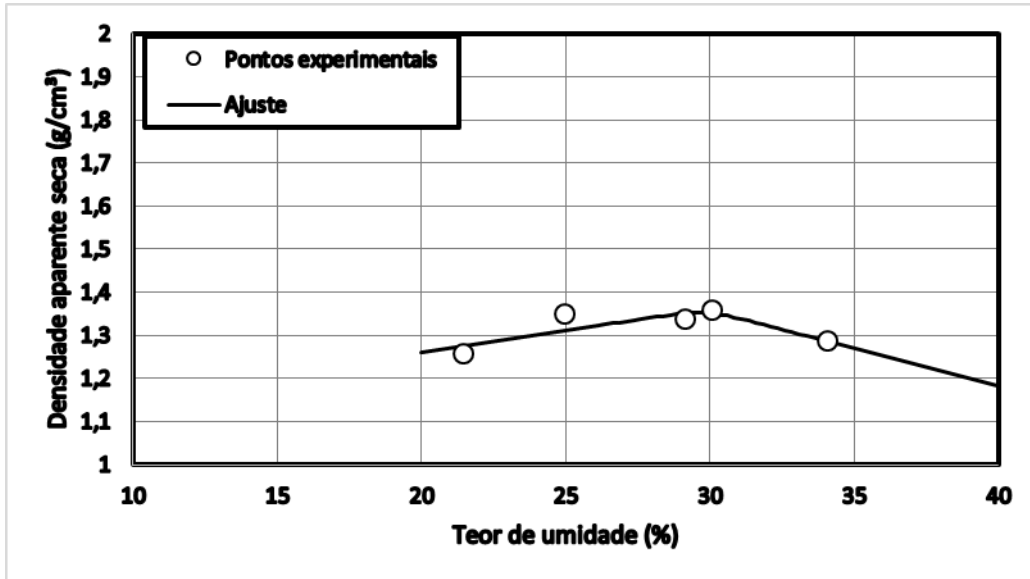


Figura A5. – Pontos experimentais e curvas de ajuste obtidas nos ensaios de compactação Proctor Intermediário com substituição em massa de 10% de CCE e 5% de cimento, obtendo umidade ótima de 29,51% e densidade de 1,352 g/cm³.

Fonte: Autoria própria(2019)

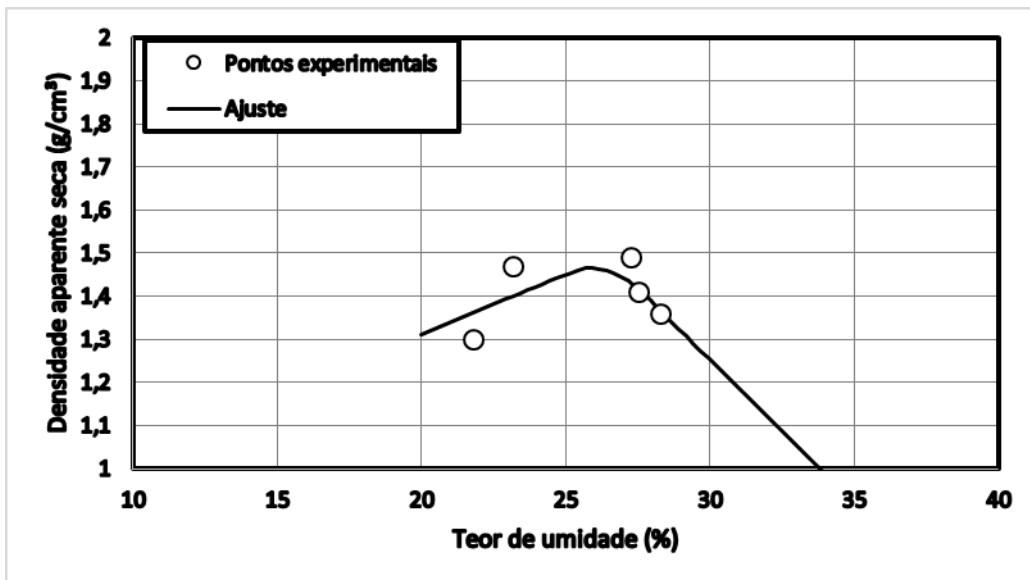


Figura A6. – Pontos experimentais e curvas de ajuste obtidas nos ensaios de compactação Proctor Intermediário com substituição em massa de 10% de CCE e 2,5% de cimento, obtendo umidade ótima de 25,90% e densidade de 1,466 g/cm³.

Fonte: Autoria própria(2019)

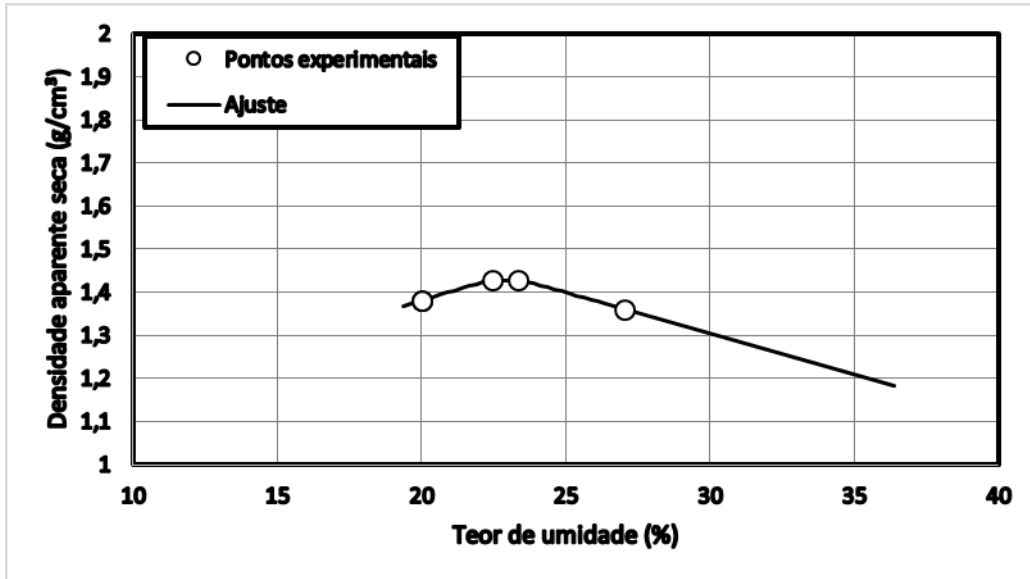


Figura A7. – Pontos experimentais e curvas de ajuste obtidas nos ensaios de compactação Proctor Intermediário com substituição em massa de 5% de cimento, obtendo umidade ótima de 22,93% e densidade de 1,428 g/cm³.

Fonte: Autoria própria(2019)

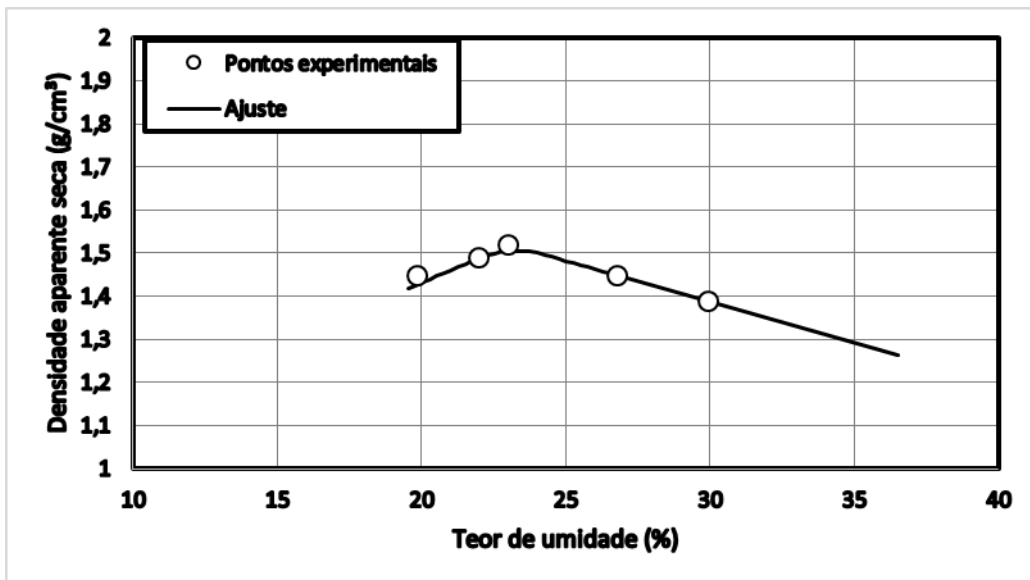


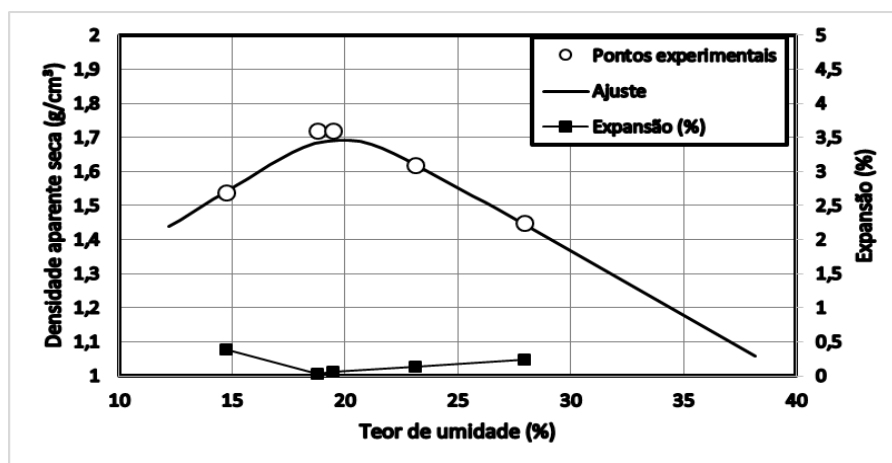
Figura A7. – Pontos experimentais e curvas de ajuste obtidas nos ensaios de compactação Proctor Intermediário com substituição em massa de 2,5% de cimento, obtendo umidade ótima de 23,07% e densidade de 1,510 g/cm³.

Fonte: Autoria própria(2019)

Apêndice B- Resultados dos ensaios de compactação, expansão e CBR

As figuras abaixo apresentam os resultados obtidos através do ensaio de compactação, expansão e CBR.

(a) Curvas de compactação e expansão



(b) Curvas de compactação e CBR

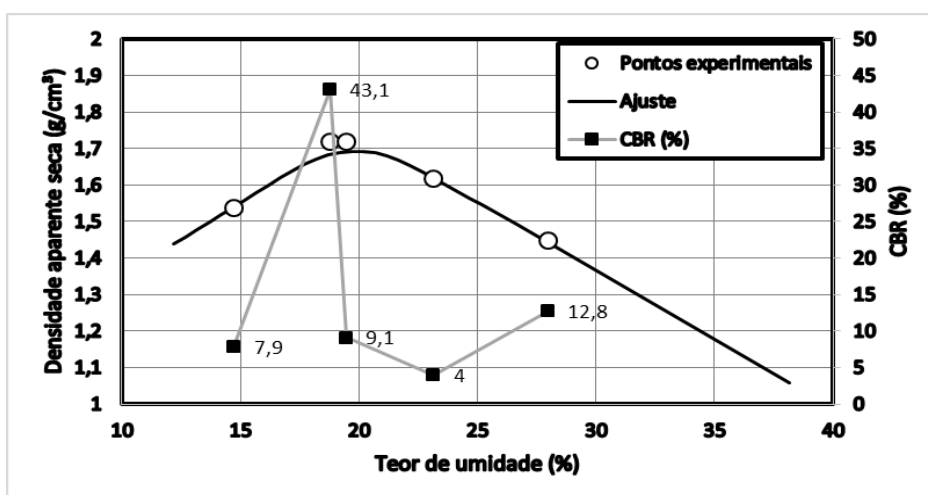
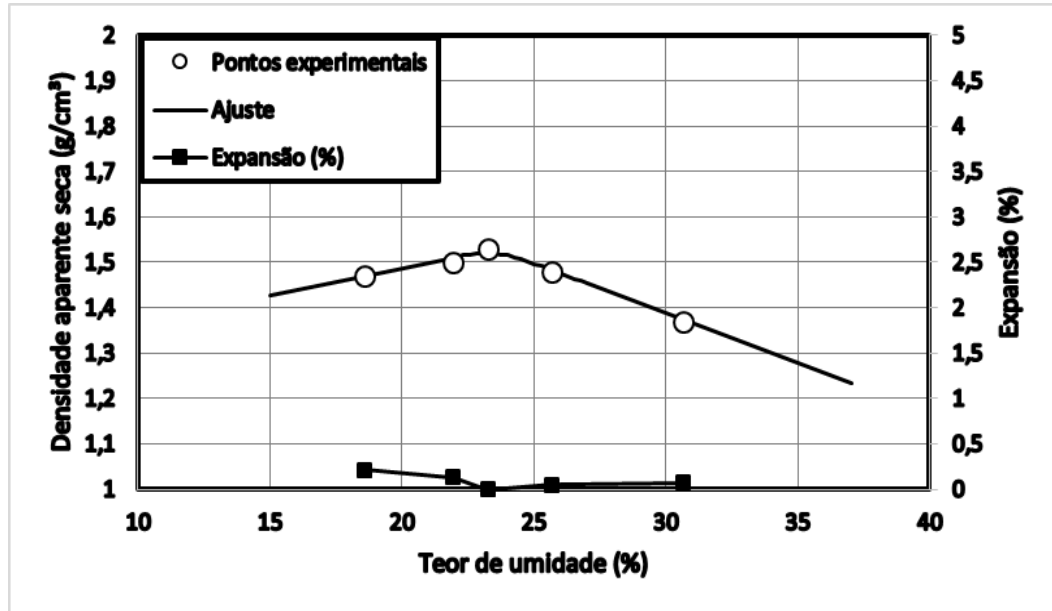


Figura B.1 – Resultados obtidos nos ensaios de compactação, expansão e CBR referentes ao ensaio com solo sem adição.

Fonte: Autoria própria (2019)

(a) Curvas de compactação e expansão



(b) Curvas de compactação e CBR

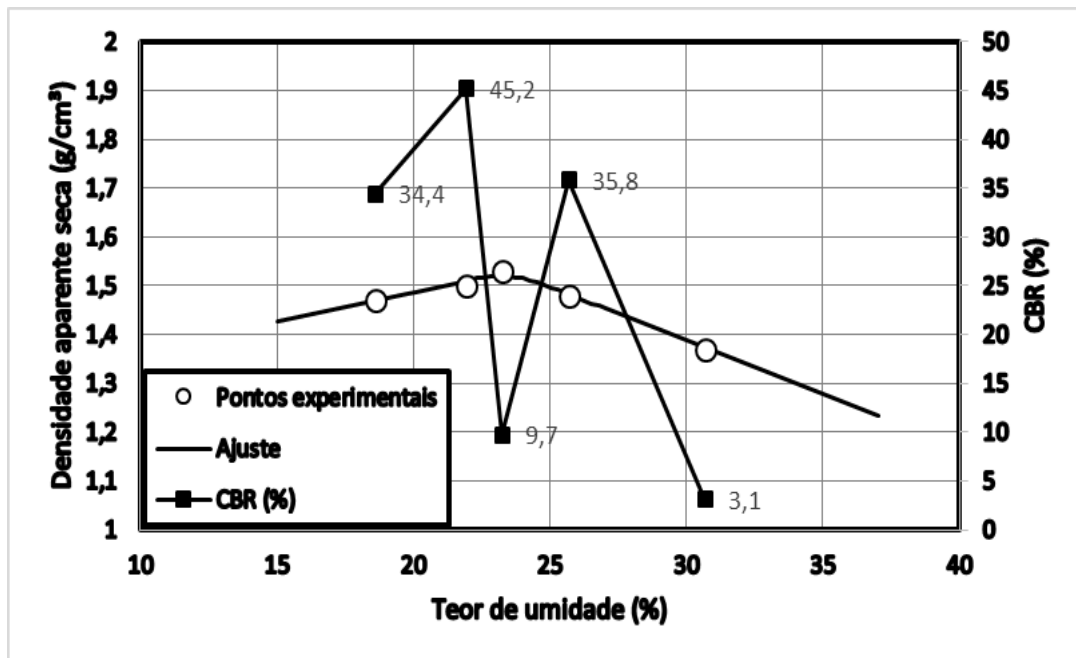
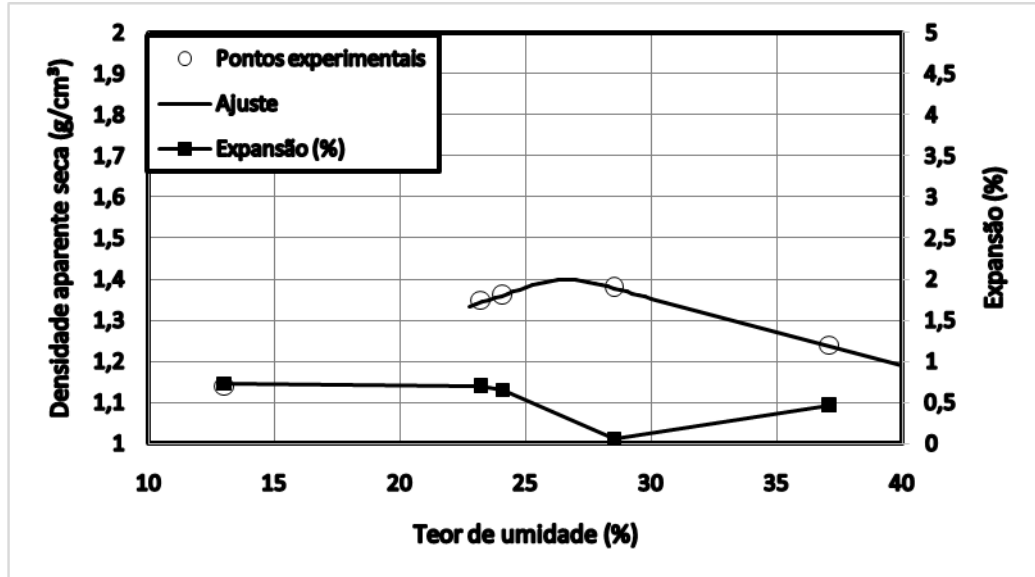


Figura B.2 – Resultados obtidos nos ensaios de compactação, expansão e CBR referentes aos teores de 80% Solo + 20% CCCEúmida.

Fonte: Autoria própria (2019)

(a) Curvas de compactação e expansão



(b) Curvas de compactação e CBR

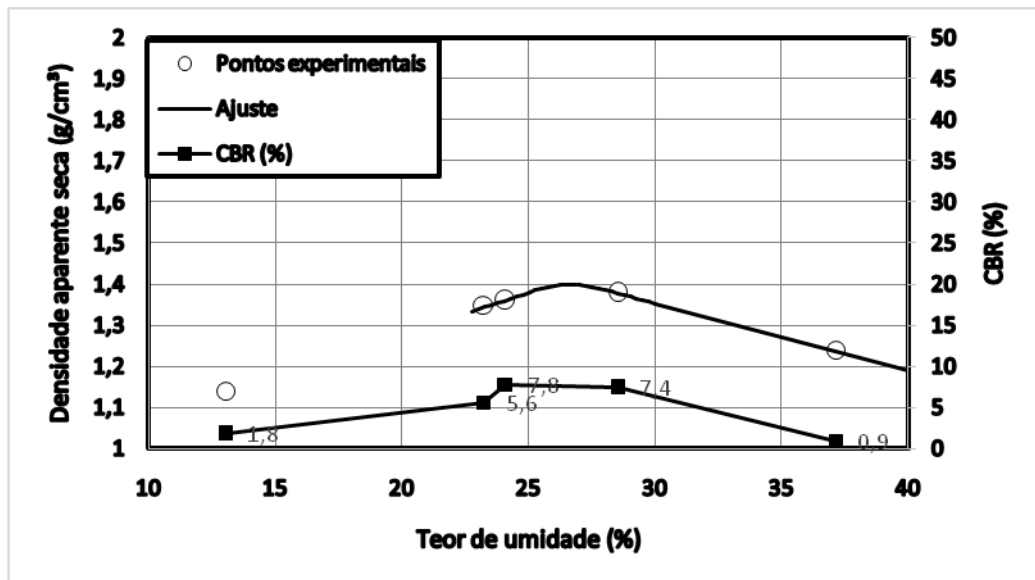
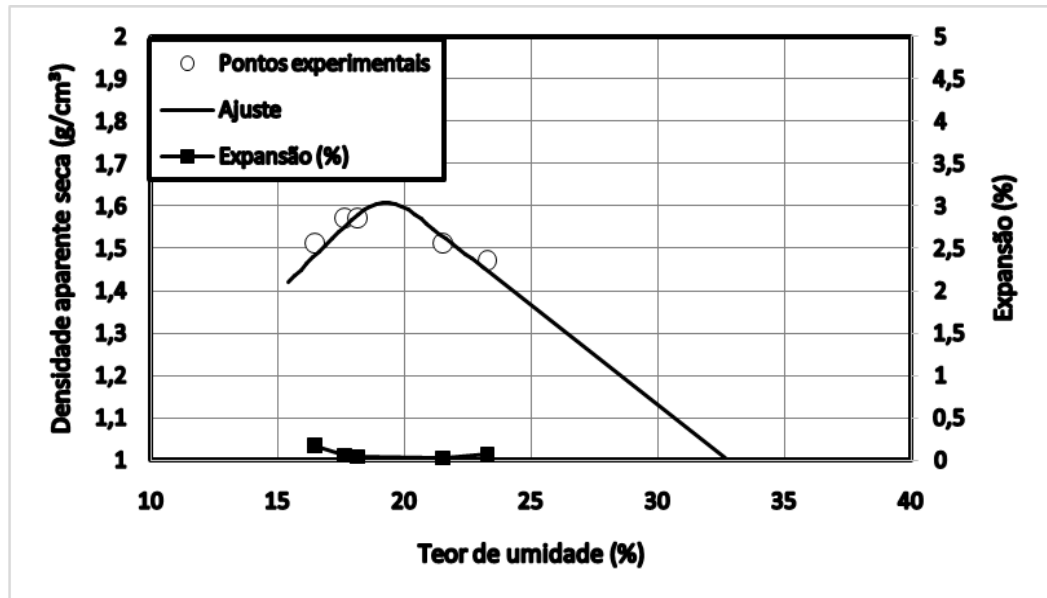


Figura B.3 – Resultados obtidos nos ensaios de compactação, expansão e CBR referentes aos teores de 95% Solo + 5% CCCEúmida.
Fonte: Autoria própria (2019)

(a) Curvas de compactação e expansão



(b) Curvas de compactação e CBR

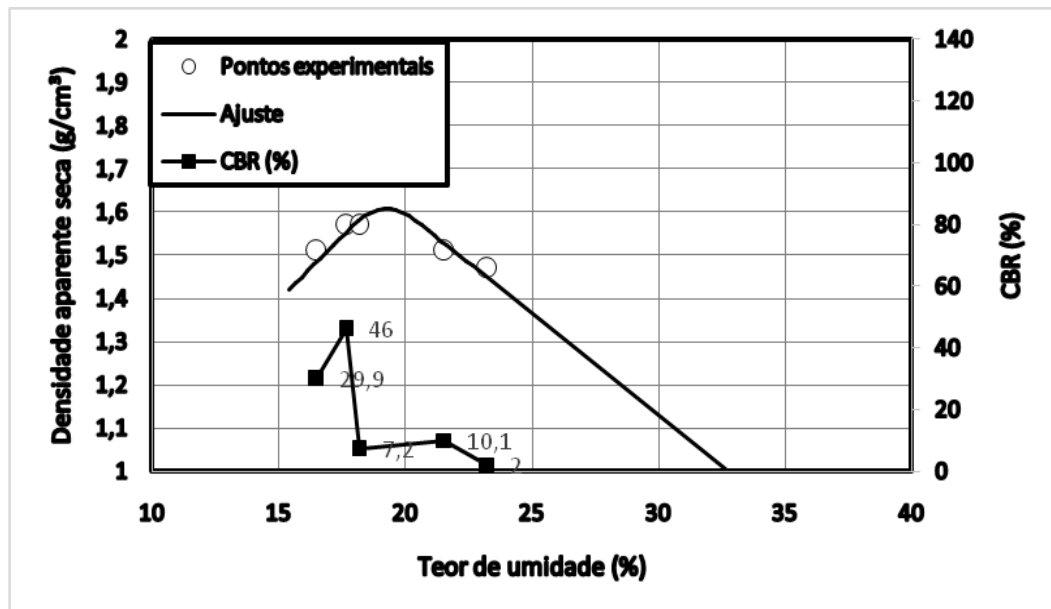


Figura B.4 – Resultados obtidos nos ensaios de compactação, expansão e CBR referentes aos teores de 90% Solo + 10% CCCEúmida.

Fonte: Autoria própria (2019)

Curvas de compactação e CBR

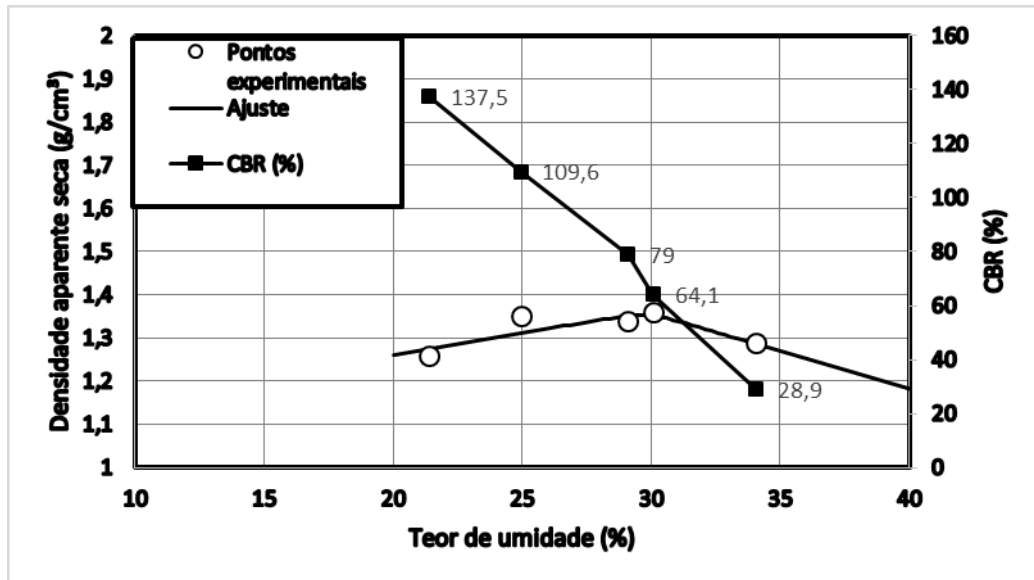


Figura B.5 – Resultados obtidos nos ensaios de compactação e CBR referentes aos teores de 85% Solo + 10% CCCE úmida + 5% cimento.
Fonte: Autoria própria (2019)

Curvas de compactação e CBR

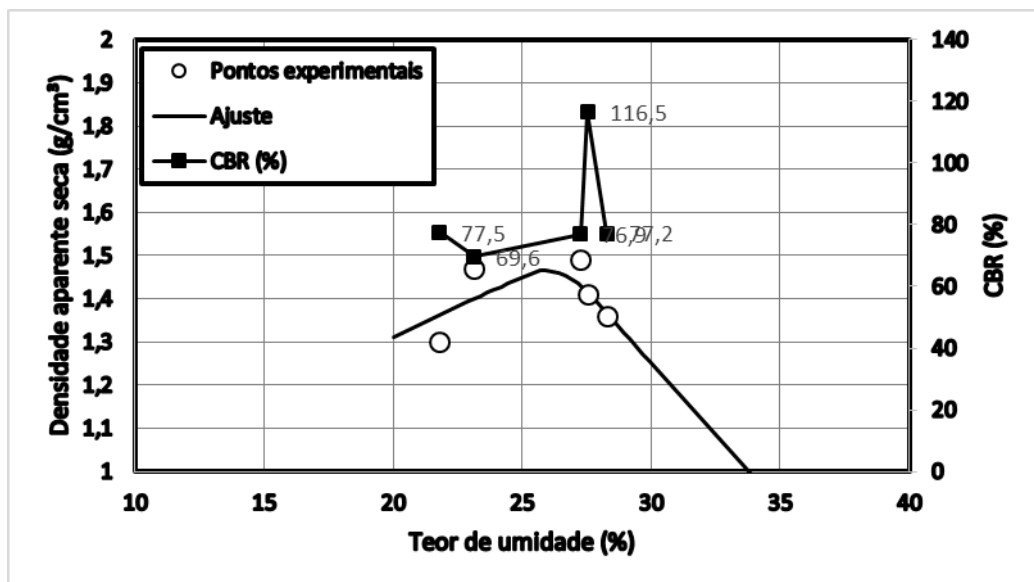


Figura B.6 – Resultados obtidos nos ensaios de compactação e CBR referentes aos teores de 87,5% Solo + 10% CCCE úmida + 2,5% cimento.
Fonte: Autoria própria (2019)

Curvas de compactação e CBR

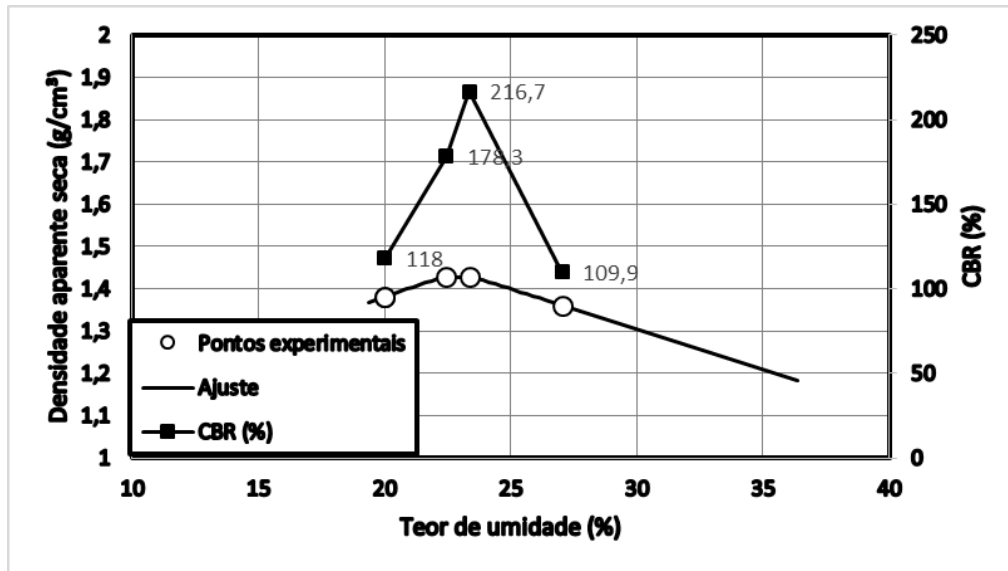


Figura B.7 –Resultados obtidos nos ensaios de compactação e CBR referentes aos teores de 95% Solo + 5% cimento.

Fonte: Autoria própria (2019)

Curvas de compactação e CBR

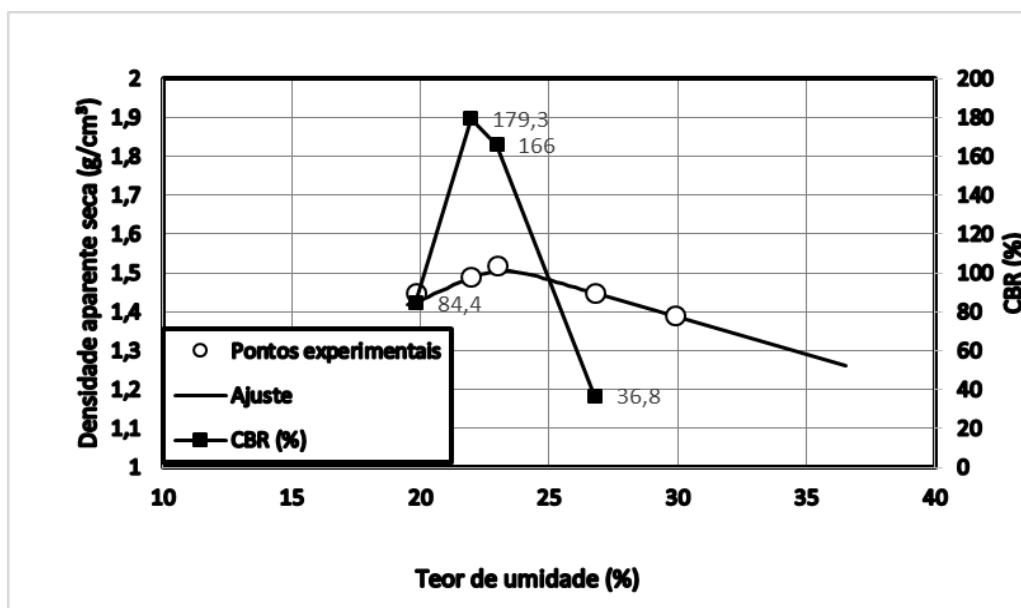


Figura B.8 –Resultados obtidos nos ensaios de compactação e CBR referentes aos teores de 97,5% Solo + 2,5% cimento.

Fonte: Autoria própria (2019)