

Estudo para utilização de resíduo gerado pela fabricação de celulose e papel no melhoramento de solo

Guilherme Rauschkolb¹
Fabiano Alexandre Nienov²

Resumo

A presente pesquisa tem por finalidade apresentar o estudo realizado referente ao comportamento de misturas de solo residual (fração argila) com a implementação de cal hidratada e resíduo proveniente da fabricação de celulose, bem como avaliar a resistência a compressão simples e a influência do tempo de cura nas resistências obtidas. Adotou-se misturas de solo-resíduo-cal hidratada, com teores de 5% e 10% de cal e variações de 20%, 30% e 40% de resíduo, estudou-se os limites de consistências de cada mistura e foram moldados corpos de prova com os diferentes teores, com tempos de curas de 7, 28, 90 e 150 dias. Após o tempo de cura as amostras foram submetidas ao ensaio de resistência a compressão simples (RCS). A mistura que apresentou melhor resultado em relação a RCS foi a amostra contendo 50 % de Solo, 40 % de Resíduo e 10 % de Cal. Os resultados obtidos nas idades de 7, 28, 90 e 150 dias de cura foram respectivamente de 221,92 kPa, 273,22 kPa, 265,64 e 339,60 kPa. A mistura contendo 60 % de Solo, 30 % de Resíduo e 10 % de Cal, obteve-se na RCS aos 7, 28, 90 e 150 dias de cura valores de 205,27 kPa, 253,85 kPa, 255,83 kPa e 304 kPa respectivamente. Com base nos resultados obtidos no presente estudo, conclui-se que o uso de solo e resíduo e incluindo um agente cimentante que nesse caso foi a cal hidratada, promoveu melhoramento do solo para fins geotécnicos.

Palavras-chave: Solo-cal. Solo-resíduo-cal. Resíduo de celulose.

1 INTRODUÇÃO

Em tempos que a preocupação com o clima e o meio ambiente mundial, os diversos setores da indústria geradores de resíduos, se depara com dificuldades em adequar-se as exigências ambientais. A reutilização de tais resíduos na construção civil, tem se tornado uma alternativa eficiente e lucrativa de descarte de diversos resíduos. Neste trabalho, há um enfoque no estudo do comportamento de misturas de solo-cal e resíduo provindo da fabricação de celulose e papel.

Em pavimentações, a estabilização de solos por meio de misturas que possam melhorar as suas características, no reforço do subleito e para a construção de bases e sub-bases, mostra ser um campo promissor para reutilização de resíduos. Para compreender o comportamento de misturas de solo-cal com a implementação de resíduos é necessário

¹ Graduado em Engenharia Civil pela Universidade do Oeste de Santa Catarina; guilhermerausch@hotmail.com

² Professor na Universidade do Oeste de Santa Catarina; fabiano.nienov@unoesc.edu.br

realizar estudos por meio de ensaios de laboratório, permitindo que através desses ensaios obtenha-se parâmetros e análises.

Segundo Instituto Brasileiro de Árvore (2017), o Brasil está entre os principais produtores de celulose, papel e painéis de madeira no mundo, com exportações que trazem inegável contribuição para a balança comercial e geram muitos empregos e renda em todas as regiões do País. No entanto, esse setor da indústria se depara com grandes problemas, quando se trata da destinação dos resíduos gerados na fabricação de papel. O setor gerou 47,8 milhões de toneladas de resíduos em 2016 (INSTITUTO BRASILEIRO DE ÁRVORE, 2017). Parte dos resíduos gerados, como as lamas de cal, não dispõe de uma destinação apropriada, ficando à deriva de depósitos.

Neste trabalho apresenta-se o estudo sobre o comportamento mecânico de misturas de solo, cal hidratada e resíduo provindo da fabricação de celulose em diversos teores, visando melhorar as características do solo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 UTILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL E CAL NO MELHORAMENTO DE SOLOS

A avaliação sobre o uso de materiais refugados da indústria de papel e celulose se faz importante para assegurar um desempenho aceitável e satisfazer critérios de engenharia, ambientais e econômicos. Os resíduos não devem apresentar efeitos negativos ao desempenho dos pavimentos, nem ameaçar o meio ambiente. Assim, devido também à grande importância da construção rodoviária para o comércio e para a mobilidade das pessoas, estudos criteriosos devem ser desenvolvidos para que não se permita que os pavimentos se tornem simplesmente um "aterro sanitário longitudinal." (SILVA JÚNIOR, 2010).

No Brasil existem diversos estudos sobre melhoramento de solo quimicamente, no entanto, ainda é recente a ideia de incorporar resíduos as misturas, destacando-se o trabalho de Molina (2004) com a utilização de lama de calcário e *dregs*, Silva Junior (2010) com a utilização de resíduo da fabricação de papel e Souza (2012) também, com a utilização de resíduo da fabricação de papel.

No estudo desenvolvido por Molina (2004), utilizou-se um resíduo da indústria de papel, constituída por lama-de-cal e *dregs* na proporção de 10:1, respectivamente. Os resultados dos estudos demonstraram que a adição do resíduo não melhora as propriedades mecânicas das misturas compactadas, necessitando da adição de estabilizante como a cal, para melhorar suas características.

Molina (2004), substituiu o solo por cal e resíduo, com porcentagens de 5% e 10% de cal e 40% de resíduo, com isso, observou parâmetros de compactação de solo-resíduo-cal similares as misturas solo-cal, com diminuição na massa específica seca máxima e aumento da umidade ótima. Observou-se também, o aumento das reações pozolânicas da cal e do

resíduo com o solo, desenvolvidas ao longo do tempo. Quando a adição do resíduo, observou-se um aumento da expansão das misturas, entretanto, os valores de expansão mantiveram-se inferiores aos limites permitidos para a utilização das misturas para as camadas de base.

Souza (2012), estudou o comportamento mecânico de misturas de resíduos da fabricação de papel e solo da região de Joaçaba/SC e verificou que para misturas contendo apenas solo e resíduo a resistência a compressão simples não varia muito com maiores teores de resíduo, já nas misturas contendo cal e resíduo, há ganhos de resistência consideráveis, com teores de 30% de resíduo e 15% de cal a resistência alcançou um pico máximo de 0,96 MPa.

Segundo Dalla Rosa (2009), o aproveitamento de materiais residuais constitui-se, ultimamente, numa área de estudo em expansão, em diversos lugares do mundo, principalmente devido as perspectivas de racionalização e conformidade ambiental que o tema envolve.

Ainda Dalla Rosa (2009), relata que, a técnica de estabilização de solos proporciona o melhoramento de um material já existente, e assim, em geotecnia, é muito difícil falar do aproveitamento de determinado produto, residual ou não, sem falar em estabilização de solos.

Conforme Carvalho (2006), o maior aproveitamento de resíduos industriais em outros segmentos de produção representa uma contribuição para o desenvolvimento sustentável. Dentro deste contexto, verificam-se grandes oportunidades de uso de resíduos da indústria de papel e celulose, uma vez que, estudos recentes têm demonstrado algumas poucas iniciativas de reaproveitamento para uso na construção civil.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O programa experimental se dividiu em duas partes. Na primeira parte realizou-se os ensaios de caracterização do solo, a fim de classificá-lo e determinar parâmetros para desenvolver os próximos ensaios.

A segunda parte baseia-se em ensaios de substituição de parte do solo por cal e resíduo originado do beneficiamento da celulose, conforme as respectivas misturas estabelecidas, a fim de se obter os principalmente limites de consistência de cada mistura e a resistência à compressão simples (RCS). Esta etapa tem por finalidade estudar o comportamento do solo quando modificado quimicamente.

O solo e a lama de cal (resíduo) utilizado na pesquisa é proveniente de uma empresa de celulose localizada no Meio Oeste do Estado de Santa Catarina. E a cal utilizada é CH III hidratada, da marca Cal CEM.

A preparação das amostras seguiu as recomendações da Norma Brasileira Regulamentadora 6457 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2016). O solo coletado foi seco ao ar. Em seguida, realizou-se o desmanche dos torrões de solo, com auxílio

de alfomfariz e mão de Grahl, evitando a quebra dos grãos. Posteriormente, o material foi colocado em sacos plásticos e armazenado até sua utilização.

As composições das misturas foram adotadas por substituição de solo, descritas na Tabela 1. Sendo S = Solo, R = Resíduo e C = Cal.

Realizou-se para cada mistura ensaios de compactação (proctor normal) para definir a massa específica seca máxima e teor ótimo de umidade. Após a definição da umidade ótima e massa específica seca máxima procede-se a moldagem dos corpos de prova para o ensaio de compressão simples.

Tabela 1 - Composição das misturas

Mistura	Composições		
	Solo (%)	Resíduo (%)	Cal (%)
S100-R0-C0	100	0	0
S95-R0-C5	95	0	5
S90-R0-C10	90	0	10
S80-R20-C0	80	20	0
S75-R20-C5	75	20	5
S70-R20-C10	70	20	10
S70-R30-C0	70	30	0
S65-R30-C5	65	30	5
S60-R30-C10	60	30	10
S60-R40-C0	60	40	0
S55-R40-C5	55	40	5
S50-R40-C10	50	40	10

Fonte: os autores.

Baseado no ensaio de compactação moldaram-se as misturas em molde cilíndrico de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura em prensa manual. Foram moldados 4 corpos de prova por mistura para 7, 28, 90 e 150 dias de cura. Sendo moldadas as misturas de acordo com a Tabela 2. As misturas compostas somente de solo e solo-resíduo não foram efetuadas em virtude de não ocorrer cimentação.

Tabela 2 - Misturas para moldagem dos corpos de prova

Mistura	Composições		
	Solo (%)	Resíduo (%)	Cal (%)
S95-R0-C5	95	0	5
S90-R0-C10	90	0	10
S75-R20-C5	75	20	5
S70-R20-C10	70	20	10
S65-R30-C5	65	30	5
S60-R30-C10	60	30	10
S55-R40-C5	55	40	5
S50-R40-C10	50	40	10

Fonte: os autores.

Para a determinação da quantidade de material (solo+resíduo+cal+água) necessário a cada corpo de prova, baseou-se na massa específica máxima seca e umidade ótima, obtido no ensaio de Proctor de cada mistura. A compactação ocorreu em prensa manual, constituída de 3 camadas e tendo o cuidado para que o corpo de prova atinge-se grau de compactação mínimo de 95% comparado ao Proctor de cada mistura. Para a cura dos corpos de prova, vedou-se em sacos plásticos, a fim de evitar a perda de umidade no processo de cura.

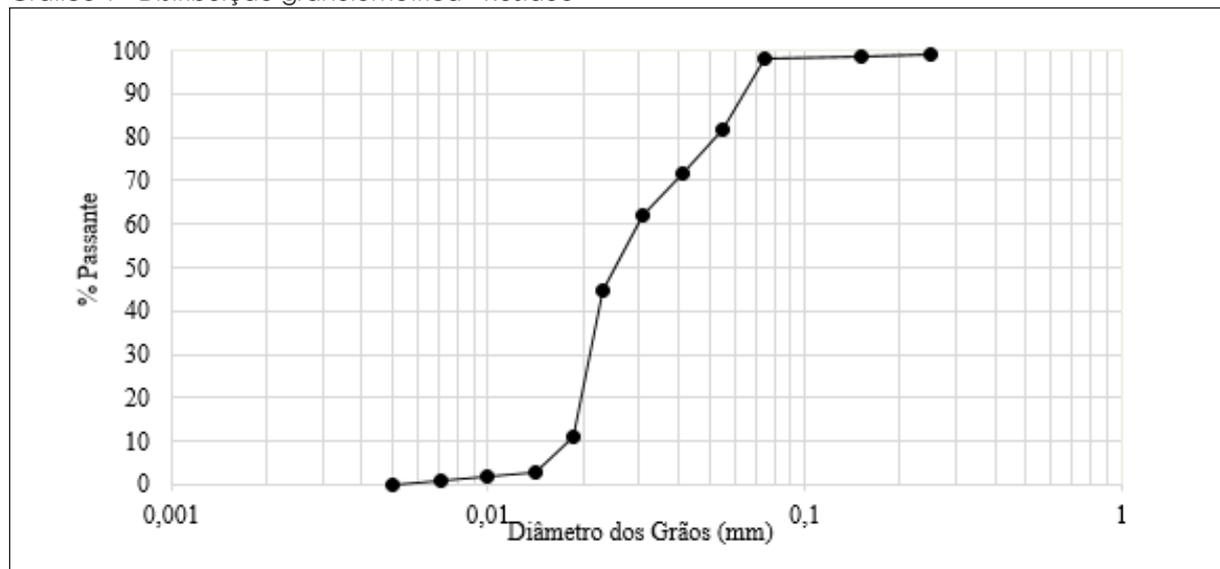
Vinte e quatro horas antes do rompimento os corpos de prova foram colocados em imersão em água. Foram moldados 128 corpos de prova, sendo 16 para cada mistura em estudo, dos quais 4 foram rompidos a 7 dias, 4 rompidos a 28 dias, 4 rompidos a 90 dias e 4 rompidos a 150 dias. Para o valor final do ensaio do rompimento, foi usado a média obtida entre as quatro amostras rompidas de cada traço na idade em questão com a eliminação de valores superiores e inferiores a 5% da média.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

4.1 CARACTERÍSTICA DOS MATERIAS USADOS

Para o ensaio de granulometria seguiu-se a NBR 7181 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017), dividida em peneiramento, e sedimentação. No Gráfico 1, está representada a curva granulométrica do resíduo.

Gráfico 1 - Distribuição granulométrica - Resíduo



Fonte: os autores.

Para a realização do ensaio de massa específica do resíduo e da cal, seguiu-se as prescrições da norma NBR 16605 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017),

utilizou-se como reagente a querosene. A massa específica do resíduo resultou em 2,73 g/cm³ e a massa específica da cal em 2,41 g/cm³.

A classificação textural que leva em conta a granulometria da amostra é dividida em argila, silte e areia o solo ficou classificado sendo como argila. Para a classificação no método H.R.B, a qual leva em conta os limites de Attenberg necessários para o cálculo do índice de grupo (IG). O solo é classificado como A7-5. E para o S.U.C.S o solo se classifica como uma argila pouco plástica arenosa. As classificações do solo utilizado e sua granulometria são apresentadas na Tabela 3.

O solo apresenta limite de liquidez, de 46% e limite de plasticidade de 36%. Por meio do índice de plasticidade (10%) conclui-se que se trata de um solo medianamente plástico.

O peso específico real dos grãos foi determinado através das prescrições estabelecidas na norma Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – **Método de Ensaio 093** (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE, 1994). O procedimento resultou em um valor da densidade real de 2,75 g/cm³.

Tabela 3 - Parâmetros do solo

Parâmetros	
Argila - < 0,002 mm (%)	67,28
Silte - 0,002 a 0,0075 mm (%)	29,54
Areia fina - 0,0075 a 0,42 mm (%)	1,3
Areia média - 0,42 a 2 mm (%)	1,69
Areia grossa - 2 a 4,8 mm (%)	0,19
Pedregulho - > 4,8 mm (%)	0
Limite de Liquidez - LL (%)	46
Limite de Plasticidade - LP (%)	36
Peso específico real dos grãos (g/cm ³)	2,75
Classificação textural	Argila
H.R.B.	A7-5
S.U.C.S.	Argila pouco plástica arenosa

Fonte: os autores.

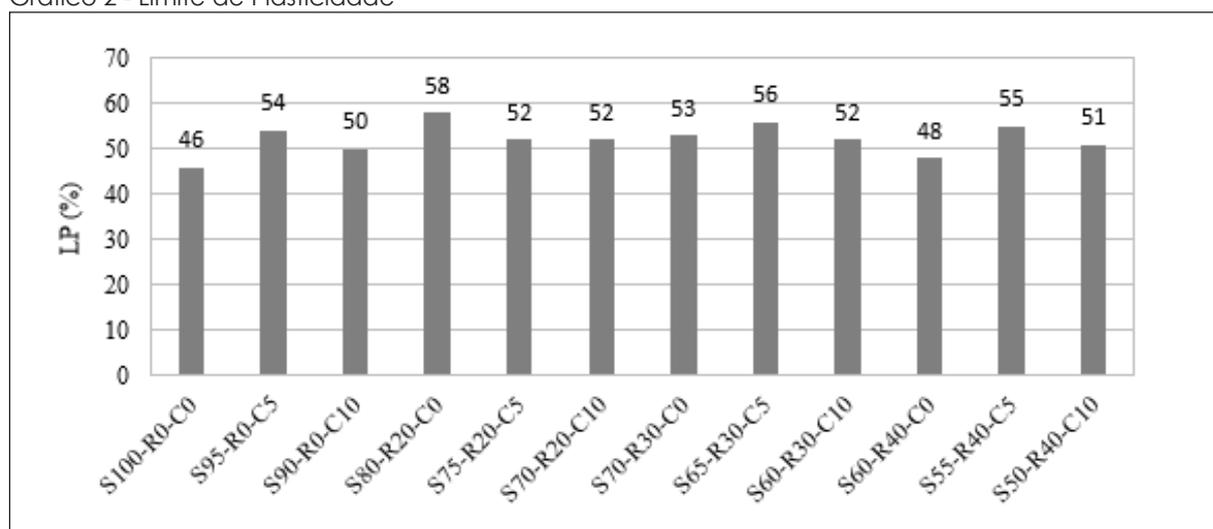
4.2 LIMITES DE CONSISTÊNCIA DAS MISTURAS

Neste item, serão apresentados os ensaios para determinação dos Limites de Liquidez e Plasticidade, assim como o cálculo do Índice de Plasticidade de cada mistura.

Para o ensaio de Limite de Plasticidade respeitou-se a NBR 7180 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2016), realizado o ensaio obteve-se os valores de Limite de Plasticidade de cada mistura apresentados no Gráfico 2.

Os valores de limite de plasticidade das misturas são influenciados pela adição de cal e resíduo. Introdução de cal e resíduo nas misturas o limite de plasticidade aumentou em comparação ao solo natural (sem adição).

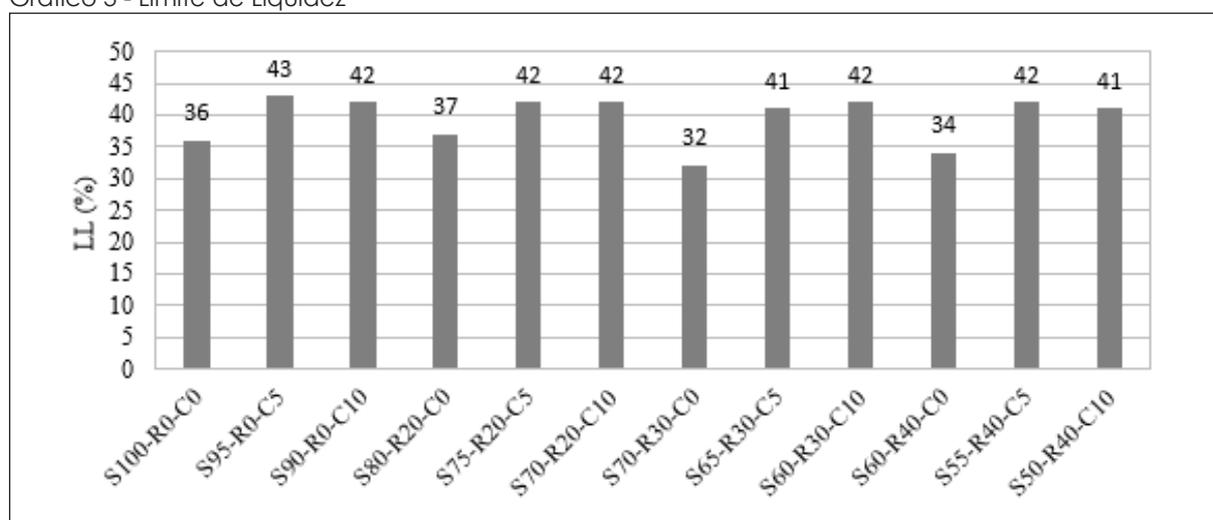
Gráfico 2 - Limite de Plasticidade



Fonte: os autores.

Para o ensaio de Limite de Liquidez respeitou-se a NBR 6459 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017), realizou-se os ensaios de Limite de Liquidez de cada mistura e encontrou-se os valores descritos no Gráfico 3.

Gráfico 3 - Limite de Liquidez



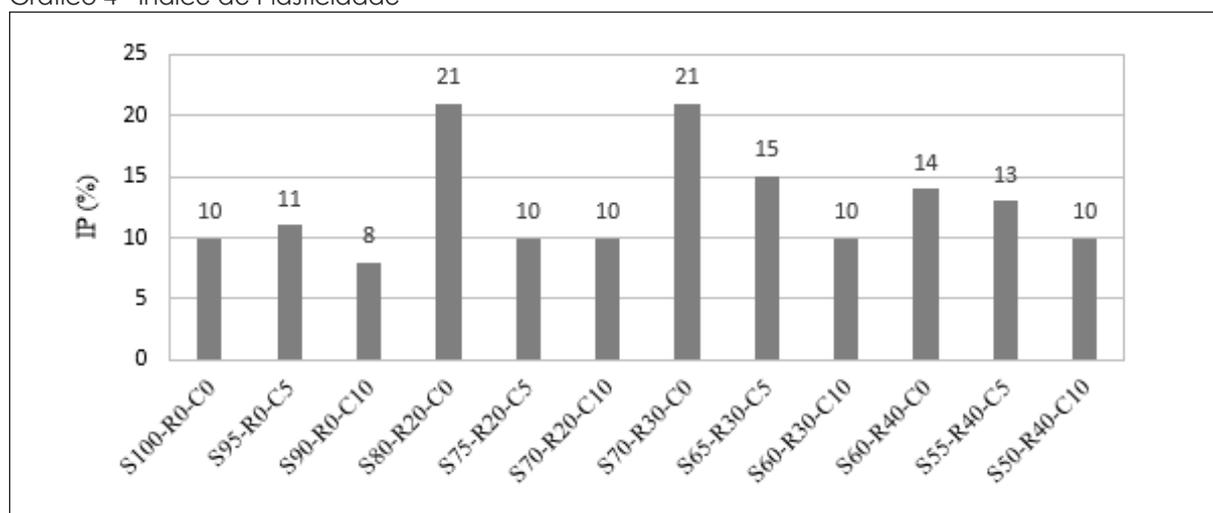
Fonte: os autores.

Através do Gráfico 3 pode ser observado que a maioria das misturas tiveram seu limite de liquidez maior em relação ao solo sem introdução de cal e resíduo, exceto nas misturas S70-R30-C0 e S60-R40-C0 que ocorreu redução do valor de LL. O Limite de liquidez foi influenciado diretamente pela adição de cal, valores maiores de LL foram obtidos após adição tanto em 5 como em 10 % de cal, e estabilizando entre 41 a 43%.

O Índice de Plasticidade se dá pela diferença entre o Limite de Liquidez e o Limite de Plasticidade (Gráfico 4). Para os valores de Índice de Plasticidade (IP) pode ser observado que a incorporado somente de resíduo na mistura ocorreu aumento do IP, valores mais expressivos

nos traços S80-R20-C0 e S70-R30-C0, passando de 10 % no solo sem incorporação para 21 % nesses dois traços e 14% para o traço S60-R40-C0. Já com a incorporação de cal nos traços em que foi incorporado resíduo, os valores reduziram, voltando aos padrões originais do solo se incorporação dos materiais, portanto, a cal foi o fator que influenciou na redução do IP e o resíduo no aumento.

Gráfico 4 - Índice de Plasticidade



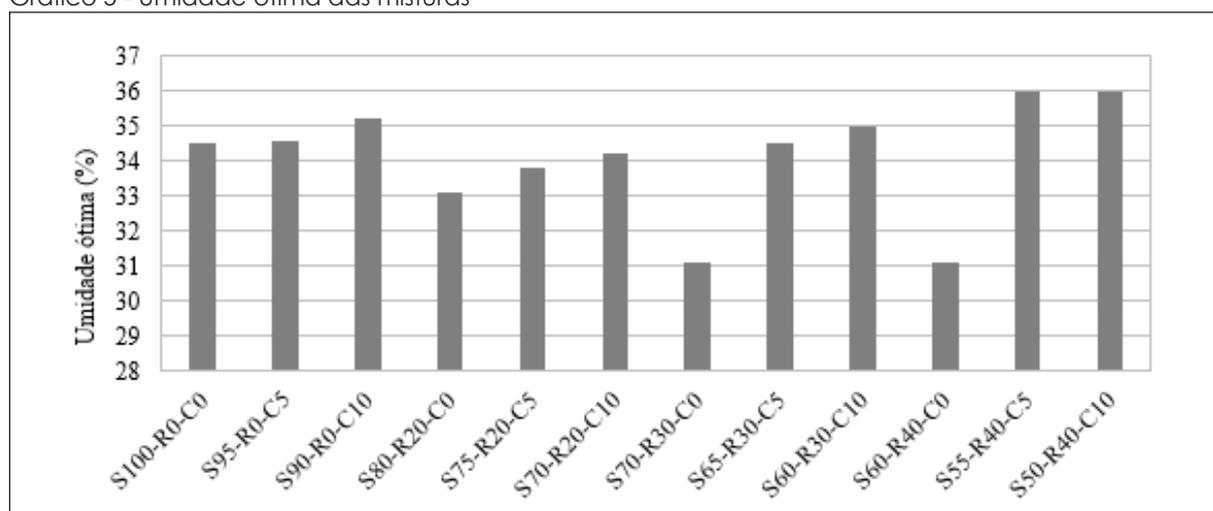
Fonte: os autores.

4.3 ENSAIO DE COMPACTAÇÃO (PRÓCTOR)

Realizou-se o ensaio de compactação de cada mistura, seguindo-se as orientações da NBR 7182 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2016), que estabelece as diretrizes para o ensaio. Utilizou-se a energia normal para a compactação.

Os valores de umidade ótima estão apresentados no Gráfico 5. Pode ser observado que ocorreu redução da umidade ótima de compactação das misturas, quando comparadas ao solo sem a adição. Combinação isolada de resíduo ocorre redução da umidade ótima da adição de 20, 30 e 40% de resíduo. A combinação de cal mais a adição de resíduo nas mesmas proporções ocorre aumento da umidade ótima, a cal foi a responsável pelo aumento da umidade ótima, principalmente nas misturas que contém maior proporção de resíduo.

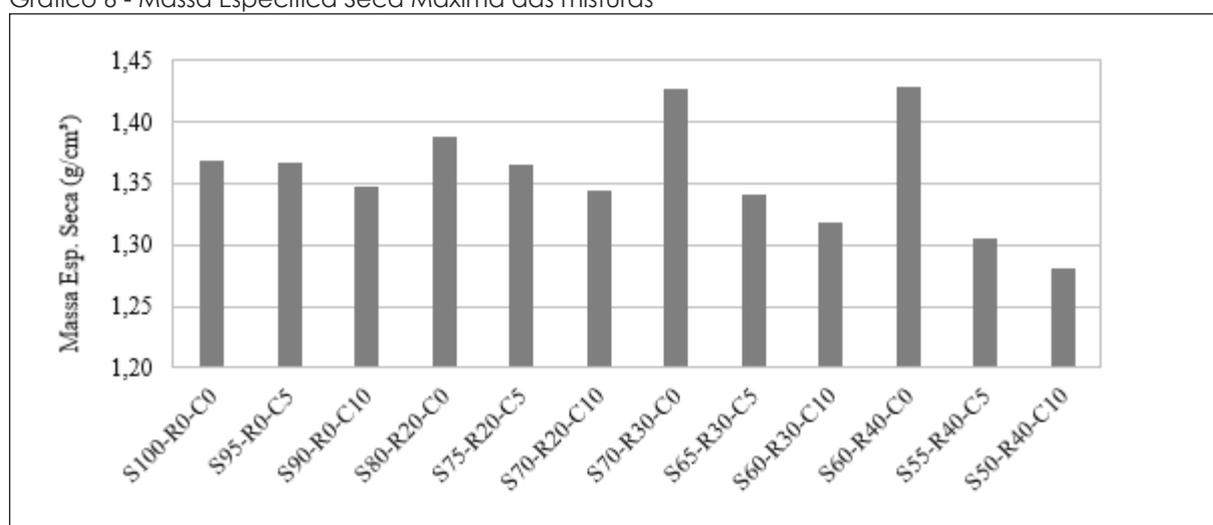
Gráfico 5 - Umidade ótima das misturas



Fonte: os autores.

No Gráfico 6 pode ser observado os valores de massa específica seca do solo e solo mais misturas. Quando se tem combinação de solo, resíduo e cal ou somente cal o valor é menor ao valor obtido somente para o solo.

Gráfico 6 - Massa Específica Seca Máxima das misturas



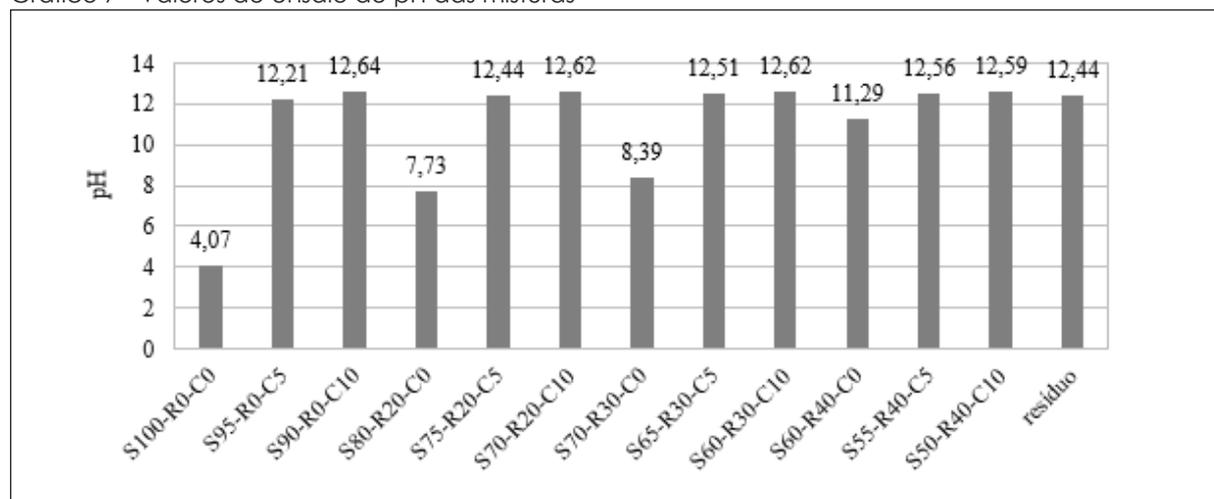
Fonte: os autores.

Nas misturas em que foi apenas adicionado resíduo ao solo o valor foi superior ao valor obtido apenas com o solo, adição de 20, 30 e 40% de resíduo sem adição de cal. O comportamento das misturas foi influenciado pela presença da cal, taxas maiores de cal reduziram a massa específica seca. Tanto a umidade ótima e a massa específica seca sofrem alterações com a adição de resíduo e cal.

4.4 VERIFICAÇÃO DO PH

Para a verificação das medições de pH de cada mistura, misturou-se 100 g das misturas, adicionou-se água na mesma proporção de massa de sólidos e agitou-se a mistura. Após aferiu-se as medições com um pH-metro com eletrodo, realizado as leituras, obteve-se os dados demonstrados no Gráfico 7.

Gráfico 7 - Valores de ensaio de pH das misturas



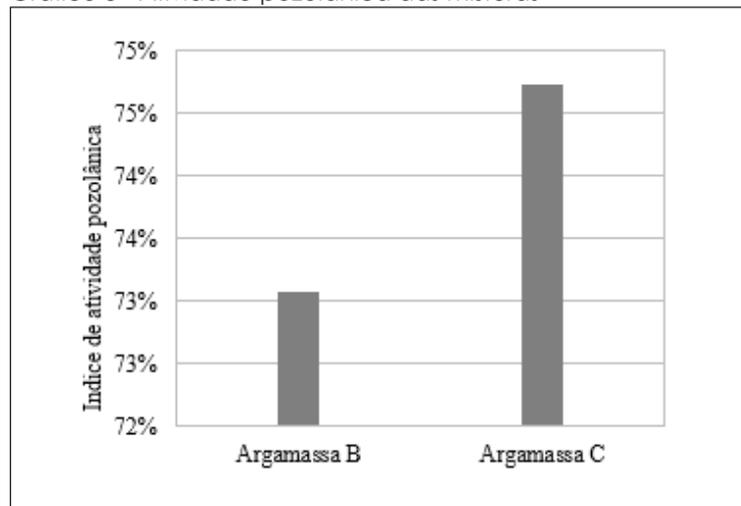
Fonte: os autores.

Ao analisar o Gráfico 7, constata-se que se trata de um solo ácido com 4,07 de pH e o resíduo apresenta valores de pH básico de 12,44. A substituição de cal em 5% no solo o pH passa a ser de 4,07 para 12,21 (S95-R0-C5). Misturas contendo apenas solo e resíduo em 20, 30 e 40% os valores de pH da mistura passa a ser de 7,73 (S80-R20-C0), 8,39 (S70-R30-C0) e 11,29 (S60-R40-C0).

4.5 ENSAIO DE POZOLANICIDADE

O ensaio de pozolanicidade seguiu os critérios estabelecidos na NBR 5752 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014). Foram realizados ensaios para material pozolânico passante na peneira 0,425mm e na peneira 0,075mm.

Gráfico 8 - Atividade pozolânica das misturas



Fonte: os autores.

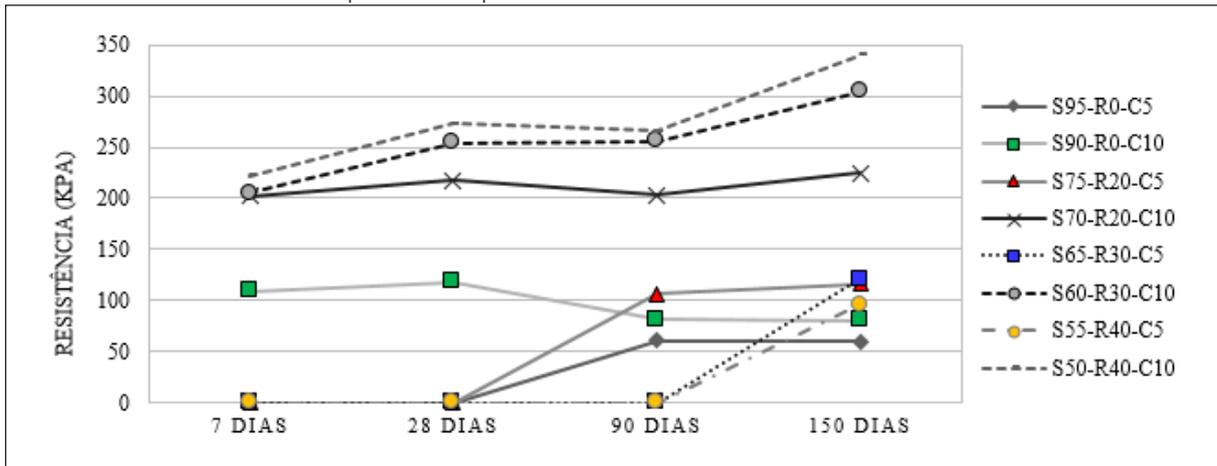
A NBR 12653 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015), estabelece o mínimo de 90% de índice de atividade pozolânica para que o material seja considerado pozolânico. Como pode ser observado no Gráfico 8, tanto a argamassa B como a argamassa C ficaram abaixo do índice estabelecido por norma, concluindo-se que o resíduo não é pozolânico. Para a argamassa B utilizou-se material passante na peneira 0,425mm enquanto na argamassa C utilizou-se material passante na peneira 0,075mm.

4.6 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES

As misturas contendo 5% de cal não obtiveram cimentação para os tempos de cura de 7 dias e 28 dias. Essa mistura no tempo de 7 e 28 dias se desintegraram quando foram imersos, devido ao baixo teor de material cimentante e a baixa idade de cura dos CP's. Já na idade de 90 dias as misturas, S95-R0-C5 e S75-R20-C5, foi possível realizar o rompimento. As misturas, S65-R30-C5 e S55-R40-C5 se desintegraram na idade de 90 dias. Para a idade de 150 dias, foi possível obter valores de resistência para todas as misturas, inclusive as misturas contendo 5% de cal, demonstrando assim, uma melhora no efeito cimentante, conforme aumenta o tempo de cura. Os resultados de RCS são apresentados no Gráfico 9.

Observa-se acréscimo na RCS com misturas contendo 10% de cal aliadas com a adição de resíduo, demonstraram melhora nas reações cimentantes, permitindo a obtenção de melhores resultados na RCS. Esse comportamento pode ser observado nas misturas S70-R20-C10, S60-R30-C10 e S50-R40-C10 em que o desempenho foi melhor do que nas misturas com apenas 5% de cal na mistura aliada ao resíduo.

Gráfico 9 - Resistência à compressão simples



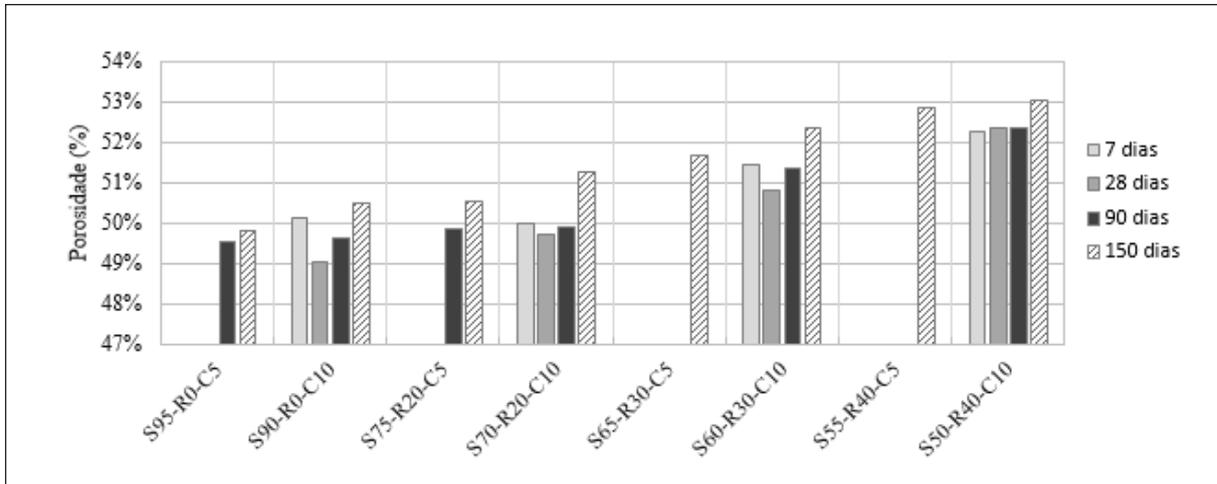
Fonte: os autores.

Em relação ao tempo de cura, para misturas contendo 10% de cal e resíduo, observa-se um acréscimo de RCS entre os 7 dias e 28 dias, após uma estabilização entre 28 dias e 90 dias e após os 90 dias novamente evolução na RCS. Nos traços contendo 5% de cal mais resíduo em 30 e 40% obtém-se valores de RCS somente aos 150 dias de cura e com 20% de resíduo aos 90 dias. Nas misturas com 5% de cal e apenas solo valores são possíveis apenas em 90 dias de cura e não ocorre evolução entre 90 dias até 150 dias de cura. Para composição com 10% de cal e apenas solo ocorre redução dos valores de RCS ao longo do tempo de cura até os 150 dias.

4.7 POROSIDADE

No Gráfico 10, apresenta-se a variação da porosidade média das misturas, nas idades de 7, 28, 90 e 150 dias de cura.

Gráfico 10 - Porosidade



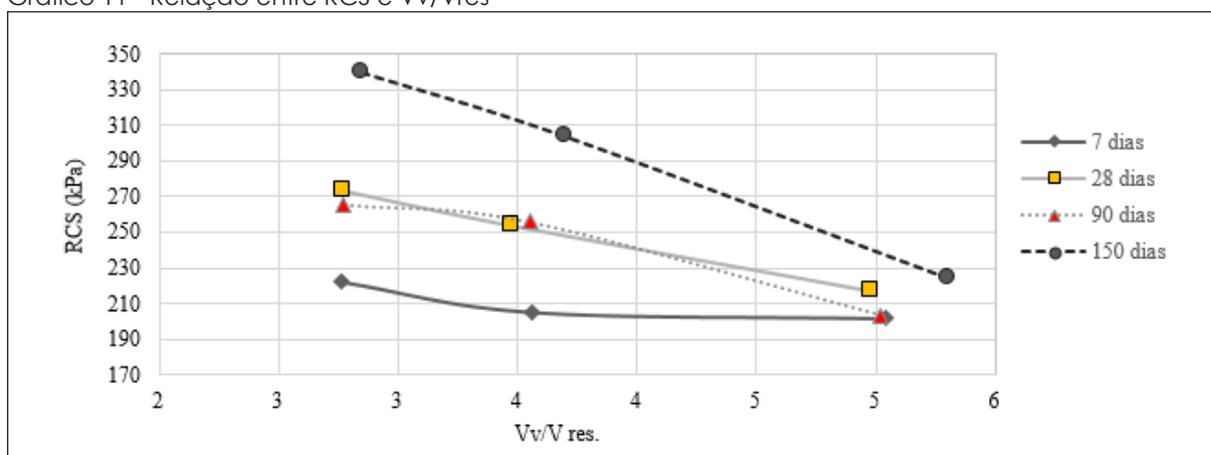
Fonte: os autores.

Verifica-se que a porosidade varia em função das composições das misturas, conforme aumenta a quantidade de resíduo aumenta a porosidade, variando de 49,01% na mistura S90-R0-C10 a 53,04% na mistura S50-R40-C10. Também a variação na porosidade em relação a idade de cura de cada mistura, porém, com variações menores, chegando a 1,50% na mistura S90-R0-C10.

4.8 EFEITO ENTRE VOLUME DE VAZIOS E VOLUME DE RESÍDUO

No Gráfico 11, apresenta-se a relação entre resistência o volume de vazios e o volume de resíduo ($V_v/V_{res.}$), para as misturas contendo 10% de cal em sua composição.

Gráfico 11 - Relação entre RCS e $V_v/V_{res.}$



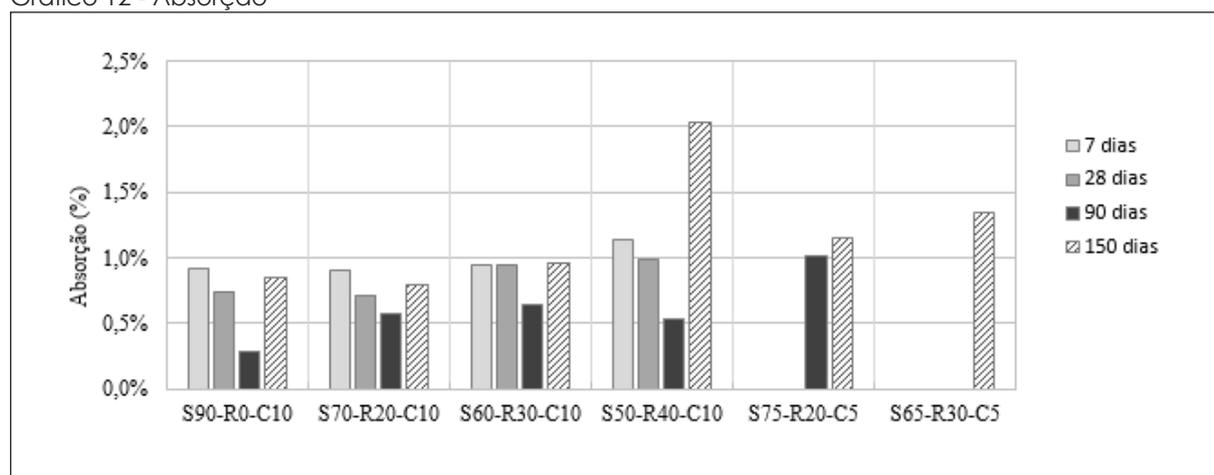
Fonte: os autores.

Quanto menor a relação entre $V_v/V_{res.}$ e maior o tempo de cura, maior a resistência obtida, partindo de 201,87 kPa na mistura S70-R20-C10 e alcançando na mistura S50-R40-C10 339,60 kPa, ou seja, quanto maior a quantidade de resíduo na mistura e maior tempo de cura, maior a resistência obtida.

4.9 ABSORÇÃO

O Gráfico 12, apresenta a média dos valores de absorção obtidos de cada mistura e a variação com as idades de cura.

Gráfico 12 - Absorção



Fonte: os autores.

A absorção consistiu em pesar os corpos de prova antes e após a imersão em água para determinar. Os dados de alguns corpos de prova das misturas contendo 5% de cal não foram obtidos, em virtude da perda de material no período de imersão dos corpos de prova.

Observando o Gráfico 12, verifica-se que a absorção ficou abaixo de 1% na maioria das misturas com exceção das composições S75-R20-C5, S65-R30-C5 e S50-R40-C10 na idade de 150 dias e na composição S50-R40-C10 com 7 dias. Com o avanço das idades de cura há menores valores de absorção para 7, 28 e 90 dias, já na idade de 150 dias ocorre acréscimo na absorção. Destaque pode ser apontado na mistura S50-R40-C10 com valor obtido de 2,03%.

5 CONCLUSÃO

A partir da análise e discussão dos resultados, e a avaliação da influência do tempo de cura sobre a resistência à compressão simples do material estudado, obteve-se as seguintes conclusões.

Ao substituir parte do solo por resíduo, acompanhado ou não de cal, proporciona mudanças no comportamento do solo, apresentando comportamentos próprios e variados, ligados aos teores utilizados.

Apesar das misturas contendo 5% de cal não apresentar cimentação nas idades de 7 e 28 dias, nas idades de 90 e 150 dias ocorreu cimentação, porém gerou resistências com valores menores. Para as misturas contendo 10% de cal, obteve-se valores já nas idades iniciais, alcançando 108,98 kPa e ao incluir resíduo a composição alcançou o valor de 221,92 kPa, e aos 150 dias de tempo de cura o resultado alcançado foi de 339,60 kPa, demonstrando melhora a medida que o tempo de cura aumenta.

No ensaio do pH-metro, constatou-se que o resíduo aumenta o pH das misturas, porém é necessária uma grande quantidade de resíduo para alcançar valores de pH básico.

Em relação a porosidade, observou-se que a implementação de resíduo as misturas aumentam seu valor, quanto maior a quantidade de resíduo, ligado a variação da massa específica seca de cada mistura, maior é a porosidade.

Com relação ao $V_v/V_{res.}$, observou-se que quanto menor a relação entre $V_v/V_{res.}$ maior a resistência obtida, ou seja, quanto maior a quantidade de resíduo na mistura, maior é a resistência obtida.

Quanto a avaliação de atividade pozolânica do resíduo, constatou-se que o material não é pozolânico.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5752 - Materiais pozolânicos - Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias.** Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457 - Amostras de Solo: Preparação para Ensaios de Compactação e Caracterização.** Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459 - Solo: Determinação do Limite de Liquidez.** Rio de Janeiro, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180 - Solo: Determinação do Limite de Plasticidade.** Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181 - Solo: Análise granulométrica.** Rio de Janeiro, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182 - Solo: Ensaio de compactação.** Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12653 - Materiais Pozolânicos - Requisitos.** Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16605 - Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica.** Rio de Janeiro, 2017.
- CARVALHO, Anderson Luz de. **Avaliação das propriedades mecânicas da argamassa contendo adição de resíduo de carbonato de cálcio gerado na fabricação de celulose.** 2006. 142 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) - Universidade Federal da Bahia, Bahia, 2006.
- DALLA ROSA, Amanda. **Estudo dos parâmetros-chave no controle da resistência de misturas solo-cinza-cal.** 2009. 198 p. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE - **DNER ME 093 - Solos – Determinação da densidade real.** Rio de Janeiro, 1994.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE ÁRVORE. **Relatório 2017.** São Paulo, 2017.

MOLINA, Carlos Ernesto Chávez. **Comportamento mecânico de misturas de resíduo da fabricação de papel e solo para utilização na construção rodoviária**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

SILVA JÚNIOR, Walter Sidronio da. **Estudo para a utilização de resíduo da fabricação de papel na construção rodoviária**. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia de Transportes) - Universidade de São Paulo, 2010.

SOUZA, Guilherme. **Comportamento mecânico de misturas de resíduos da fabricação de papel e solo da região de Joaçaba – SC para utilização na construção rodoviária**. Geosul, Porto Alegre, 2012.