

ANÁLISE DA RESITÊNCIA À COMPRESSÃO EM CONCRETO E ARGAMASSA COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DA FIBRA DE SISAL POR MEIO DO USO DA ANÁLISE DA VARIÂNCIA DE EXPERIMENTOS FATORIAIS COM TRATAMENTOS ADICIONAIS.

Érika Vitória de Duarte Negreiros¹
Vívian Paula Moreira dos Santos²
Renê Roosevelt Brito Soares³
Rita Flávia Régis Queiroz⁴

RESUMO

Possibilitar redução dos impactos ambientais negativos, provocados pela Engenharia Civil e as buscas por possibilidades de reutilização de resíduos com destinação inadequada, devido descarte em vias públicas ou rios e mares pelas indústrias, vem crescendo assim como o uso de união de conhecimentos entre áreas. Dessa forma, a Estatística aplicada à engenharia, e o auxílio do programa “R”, que sugerem resultados e melhoramentos para as mais diversas condições, motivou esse trabalho. Assim, foi estudado o efeito da incorporação do pó de batedeira, resíduo produzido no segundo processamento da fibra do sisal, em percentuais de 1%, 2% e 3% acrescidos ao traço do concreto e da argamassa, submetidos ao teste de resistência à compressão. Os resultados obtidos por essa pesquisa, sugerem um bom desempenho para as incorporações de 1% e 2% do pó de batedeira, tanto para a argamassa quanto concreto, já a 3% a incorporação começa a diminuir a resistência o que recomenda uma maior investigação.

Palavras-chave: Concreto, Argamassa, Pó de Batedeira, Variância, Incorporação.

INTRODUÇÃO

A fusão de conhecimentos e união de áreas é de grande valia, na área médica, biológica, industrial, química, entre outros, existe um grande interesse em saber relações entre duas ou mais variáveis, para isso é adotado modelos e análises estatísticas que possibilitam respostas eficazes aos diversos problemas das áreas mencionadas. A plataforma “R” fornece uma ampla variedade de técnicas estatísticas, como exemplo: modelagem linear e não linear, testes estatísticos clássicos, análise de séries temporais, classificação e agrupamento. Oferece gráficos

¹ Mestre pelo curso de **Engenharia Civil e Ambiental**, professora da Faculdade Maurício de Nassau de Campina Grande, erika_vitoria@hotmail.com;

² Graduando pelo Curso de **Engenharia Civil** da Instituição Uninassau - PB, karolandradepires@live.com;

³ Graduado pelo Curso de **Engenharia Civil** da Instituição Uninassau - PB, reneroosevelt@gmail.com;

⁴ Mestranda do Curso de **Engenharia Civil e Ambiental** na Universidade Federal de Campina Grande- UFCG, flaviarq18@gmail.com.

bem-desenhados com ótima qualidade para publicação, por possibilitar produzir a inclusão de símbolos matemáticos e fórmulas, quando necessário.

Segundo dados do Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS), a construção sustentável vem ganhando adeptos nos últimos anos com muitas pesquisas relacionadas a adição e substituição de compostos de descartes ou baixo custo em materiais rotineiramente utilizados nesta área. (PLANETA SUSTENTÁVEL, 2010)

Na Engenharia Civil, a análise de variância permite testar hipóteses, verificar a influência dos fatores, se existe uma diferença significativa entre as médias, contribuindo assim para maior confiabilidade aos resultados do teste de resistência. Dessa forma, será incorporado à argamassa e ao concreto, descartes da produção da fibra de sisal do segundo tratamento das fibras, com a finalidade de verificar os resultados do ensaio de resistência à compressão do concreto e argamassa com cura de 07 dias, na adição de 1%, 2% e 3% do resíduo da fibra de sisal utilizado (chamado pó de batedeira) por meio de análise da variância de experimentos fatoriais com k tratamentos adicionais.

Percebeu-se então que ao realizar o teste de compressão com adição de 1% e 2% na argamassa apresentou um aumento na resistência em relação a argamassa pura, onde atenderam as normas para fins de assentamento de blocos cerâmicos e alvenaria estrutural. As incorporações ao concreto, obtiveram os valores muito abaixo do mínimo sugerido pela norma, não atendendo aos requisitos para concreto estrutural, essas incorporações poderiam ser indicadas para o uso em concretos magros, sendo assim uma alternativa de destinação final para o material de descarte em questão, colaborando, portanto, com a preservação ambiental e desenvolvimento sustentável.

METODOLOGIA

Para a pesquisa em questão, a metodologia realizada baseou-se em quatro etapas conforme Figura 01. Os materiais utilizados podem ser vistos por meio da Figura 02.

Figura 01: Fluxograma - Sequência das etapas

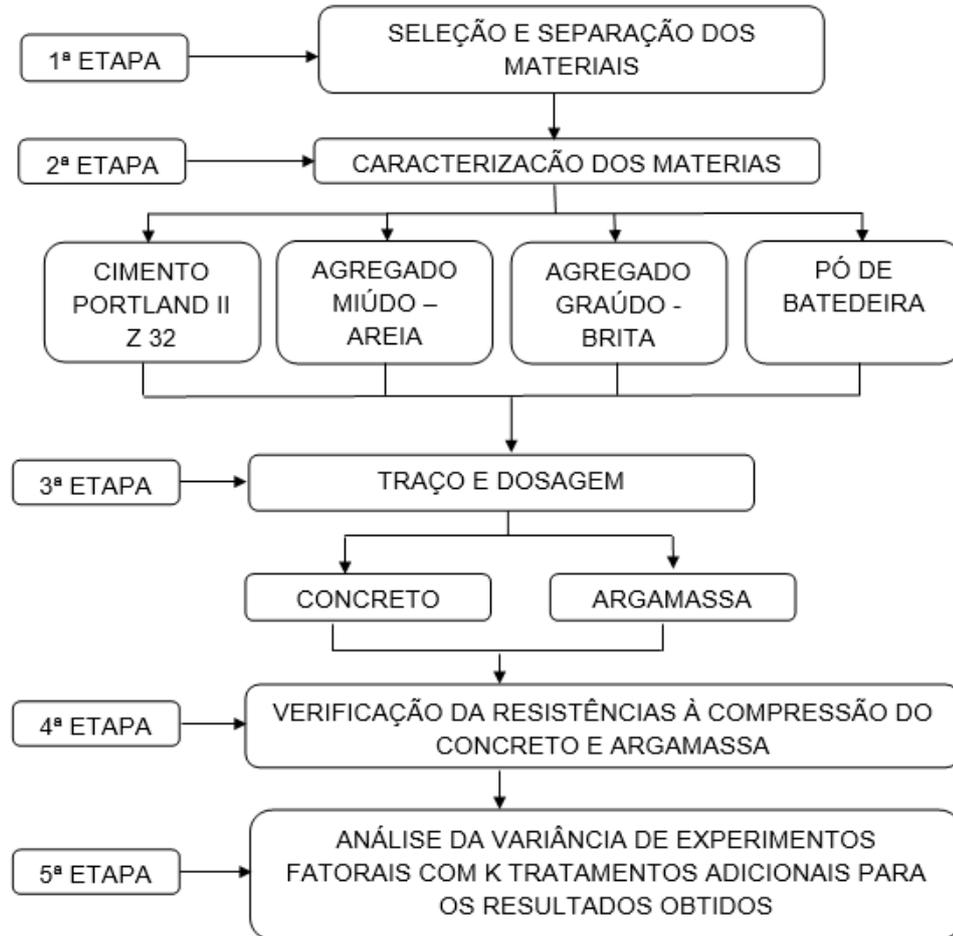


Figura 02: (I) Cimento Portland II Z – 32; (II) agregado miúdo - areia grossa; (III) agregado graúdo – brita 1, (IV) Pó de bateadeira



(I)



(II)



(III)



(IV)

A preparação para os corpos de prova, foi feita por meio da utilização de 20 corpos de prova cilíndricos, com dimensões de 5 cm de diâmetro x 10 cm de altura para a argamassa e 20 corpos de prova cilíndricos, com dimensões de 20 cm de diâmetro x 10 cm de altura para concreto, conforme normas NBR 7215 de argamassa e NBR 5738 de concreto respectivamente.

A caracterização dos materiais envolvidos na pesquisa foi realizada mediante os seguintes ensaios (Tabela 01):

Tabela 01: Ensaio de caracterização dos materiais.

ENSAIO	NORMA	MATERIAL
Granulometria	NBR 7217	Agregado miúdo, Agregado graúdo e pó de batedeira
Massa específica	NBR 7216	Agregado miúdo

Fonte: Autor próprio (2019).

Para utilização do modelo estatístico, temos um conjunto de dados utilizado na pesquisa, proveniente de um experimento de blocos, ao acaso, com arranjo fatorial $2 \times 3 + 2$ com 5 repetições. Os tratamentos foram constituídos por dois níveis, três fatores, dois tratamentos adicionais, totalizado 8 tratamentos.

A variável mensurável para análise estatística foi a resistência da argamassa e concreto à incorporação do pó de batedeira.

- Etapa 1:

Com o auxílio de um Estatístico, foi tabulado os dados para sua inclusão no programa estatístico “R”.

- Etapa 02:

Com os resultados obtidos, foi construída a Tabela 03, da Análise da variância para Experimentos Fatoriais e Tabela 04, denominada de Tabela de Dupla Entrada, que permite a visualização das médias das incorporações nos materiais, a argamassa e o concreto.

- Etapa 03:

Para obtenção dos gráficos da relação e confiabilidade dos resultados da interação da argamassa e concreto aos aditivos, mediante equação fornecida, pelo o programa “R”.

REFERENCIAL TEÓRICO

Resistência característica do concreto à compressão

O concreto é um material bastante utilizado na construção civil e com isso faz-se necessário a execução de testes para analisar a sua resistência à estabilidade e segurança estrutural, que valida a qualidade da estrutura. A Resistência Característica do Concreto à Compressão (f_{ck}) demonstra que a trabalhabilidade depende da quantidade de água e dos materiais adicionais que o concreto leva e o que influencia diretamente na sua resistência. A sua unidade de medida é o MPa (Mega Pascal), sendo assim, Pascal: Pressão exercida por uma força de 1 newton, uniformemente distribuída sobre uma superfície plana de 1 metro quadrado de área, perpendicular à direção da força. Onde, Mega Pascal (MPa) = 1 milhão de Pascal = 10,1972 Kgf/cm².

Resistência característica da argamassa à compressão

A resistência à compressão da argamassa afeta diretamente a resistência das componentes de alvenaria. A análise da transferência de tensões entre as componentes de um prisma mostra que a argamassa dentro de uma parede está submetida a um estado tridimensional de tensões. Algumas componentes de tensões provocam confinamento, o que melhora a resistência da compressão e argamassa na parede em relação a mesma quando ensaiada isoladamente. A contribuição da argamassa na resistência da alvenaria é limitada pela resistência dos blocos. Neste sentido algumas recomendações devem ser respeitadas para a alvenaria estrutural. De acordo com a ABNT NBR 15812-1:2010, onde a argamassa deve ter no mínimo uma resistência de 1,5 MPa e um valor máximo igual a 70% da resistência do bloco quando esta é calculada em relação a área líquida do bloco.

A Fibra de Sisal e os materiais descartados

O sisal (*Agave sisalana*, família Agavaceae) é uma planta originária do México que se espalhou rapidamente para outras regiões do mundo, como a África, Europa e Ásia. Essa planta é resistente ao clima seco, ao sol intenso e é cultivada em regiões tropicais e subtropicais e no Brasil nas regiões semiáridas do nordeste brasileiro (figura 3). Extraída da folha “*Agave Sisalana*”, a fibra de sisal tem diversas aplicações, mas seu principal emprego ainda é na indústria

de fios, cordas e mantas. Assim como outras de origem vegetal, tem um papel importantíssimo na proteção ao meio ambiente e no desenvolvimento sustentável das sociedades modernas. Por ser uma fibra biodegradável por excelência, os produtos que têm o sisal como matéria-prima são substitutos naturais dos plásticos e/ou derivados do petróleo.

O Brasil é o maior produtor de sisal do mundo, com aproximadamente 245 mil toneladas de fibra vegetal por ano. Além de maior produtor mundial, o Brasil é o maior exportador da fibra. Estima-se que mais de 80% da produção nacional é exportada para mais de 50 países, sendo os principais importadores os Estados Unidos, China, México e Portugal.

Figura 03: Agave Sisalana



Fonte: <http://www.rankbrasil.com.br>

Após a colheita da folha de sisal, que é realizada manualmente, por trabalhadores utilizando uma faca. As folhas são transportadas no lombo de um animal até o local onde se encontra o motor desfibrador (ou “motor paraibano”, como é conhecido). No desfibramento remove-se a parte verde da folha, restando a fibra em estado úmido. Nesse primeiro processo, o material de descarte é chamado de bucha de campo, não possui reaproveitamento do mesmo.

Já desfibradas, as fibras em estado úmido são levadas e estendidas nos varais, permanecendo sob a luz solar por um período de 72 horas, para que ocorra o processo de secagem uniforme. Após a secagem, a fibra deve apresentar umidade entre 10 e 13 %, sendo um dos parâmetros avaliados na compra do sisal. Na sequência, as fibras são enfardadas e transportadas pelos agricultores até a unidade de beneficiamento. Nesse momento, são classificadas em função do tamanho e qualidade e, em seguida, são submetidas ao beneficiamento, utilizando a máquina conhecida como “batedeira”, onde são removidas as impurezas aderidas às fibras, deixando-as com aspecto brilhoso. Após

esse processo, é gerado o “pó de bateadeira”, o segundo material de descarte sem destinação final.

Uso de resíduos da fibra de sisal na construção civil

A indústria da construção civil tem apresentado um crescimento significativo no Brasil nos últimos anos. É por essa razão que o correto uso dos materiais alternativos, como pó de bateadeira e a bucha de campo no concreto e na argamassa será certamente uma solução eficiente, objetiva e economicamente viável. Os avanços dos aditivos incorporados nos mesmos tiveram a necessidade de aprimorar as características e também a procura por outros materiais que, adicionados podem beneficiar ainda mais o seu desempenho e respeitando-se os conceitos de desenvolvimento sustentável.

Variância estatística em programa R

R é uma linguagem e ambiente para computação estatística e para gráficos. Trata-se de um conjunto integrado de facilidades de software para manipulação de dados, cálculo e visualização gráfica. É um projeto disponível como Software Livre sob os termos da Licença Pública Geral GNU da Free Software Foundation na forma de código fonte, ou seja, um projeto com o objetivo de criar um sistema computacional totalmente livre, que qualquer pessoa teria direito de usar, modificar e redistribuir, o programa, seu código fonte, desde que garantindo para todos os mesmos direitos. No R existe uma grande diversidade de pacotes. Estes que contêm um conjunto de funções que permitem ou facilitam a realização das análises estatísticas, além de possuírem ajuda para suas funções, alguns dos quais com demonstrações de execução.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos a partir do teste de compressão podem ser vistos na Tabela 02. Posteriormente, esses resultados foram submetidos a um tratamento estatístico de Análise da Variância de Experimentos Fatoriais com 2 tratamentos adicionais conforme Tabela 03. Observa-se também a interação entre os materiais e a incorporação conforme Tabelas 02, 03 e 04, onde está especificado os resultados finais da análise.

Tabela 02: Resultados dos testes de compressão da argamassa e do concreto.

INC \ NÍVEIS	1%	2%	3%
ARGAMASSA	20,85	11,5	1,45
	21,65	16,25	1,45
	21,65	12,5	1,55
	18,05	10,65	1,50
	22,20	13,4	1,45
MÉDIAS	20,88	12,86	1,48
CONCRETO	8,11	2,47	0,7365
	7,59	3,23	0,7115
	10,08	3,82	0,7989
	8,72	3,44	0,7615
	8,39	2,88	0,7365
MÉIDAS	8,578	3,168	0,748

Fonte: Autor próprio (2019).

Tabela 03: Análise de Variância para Experimentos Fatoriais

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrados Médios	Estatística F
Material (M)	1	425,60	425,60	13,35**
Incorporação (I)	2	924,35	462,17	142,64**
M x I	2	182,37	91,19	28,14**
Fator vs Teste	1	719,64	719,64	222,15**
Entre Testemunhas	1	87,79	87,79	27,10**
Tratamento	7	2339,75	719,64	103,18**
Erro	32	103,66	3,24	

Coeficiente de variação% 17,34

Fonte: Autor próprio (2019).

Tabela 04: Dupla Entrada dos materiais.

Material	1%	2%	3%
ARG	20,84 A	12,77 A	1,48 A
COM	8,57 B	3,16 B	0,74 A
Média do Fatorial	7,93 B		
Média das testemunhas	17,72 A		

Fonte: Autor próprio (2019).

Por meio dos resultados relacionados na tabela 04 observa-se as médias obtidas na incorporação do pó de bateira à argamassa e ao concreto, apontando que em 3% suas médias não diferem estatisticamente, porém em 1% e 2% é possível verificar

diferença nos valores, o que significa que as incorporações com esses teores são dependentes e influenciam nas médias.

Para a obtenção de dados estatísticos em relação a resistência x incorporação da argamassa, foi encontrado a seguinte equação pelo programa “R”:

$$Y = 31,06 - 9,68 \times INC$$

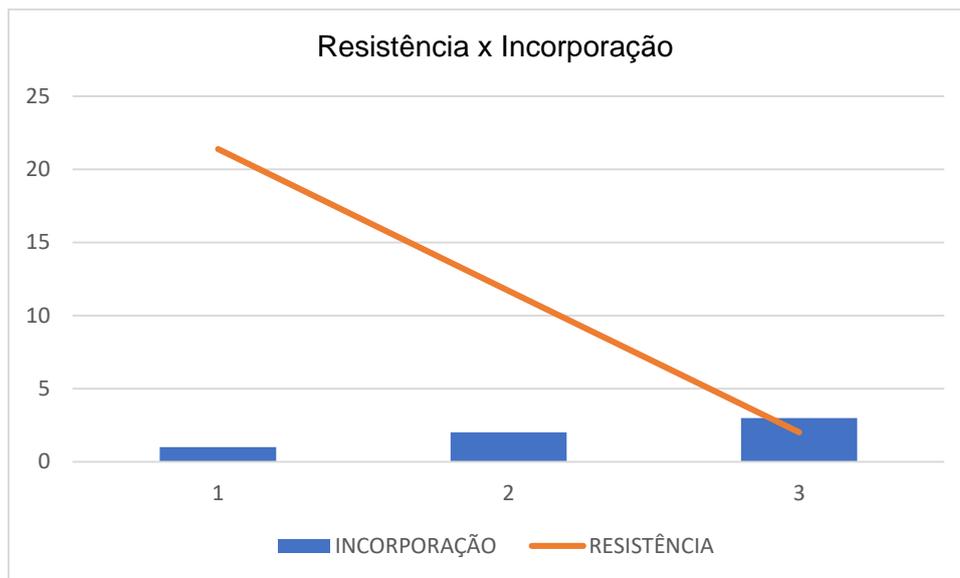
Onde:

Y = corresponde a resistência do concreto;

INC = corresponde ao percentual de incorporação que será aplicado no traço da argamassa.

A partir dessa equação e com o percentual de explicação da regressão em reta ao fenômeno de 96% ($R_e = 0,96$), é possível notar que quanto maior o percentual da incorporação, menor a resistência como pode ser visto na Figura 04.

Figura 04: Relação resistência x incorporação da argamassa com 07 dias de cura



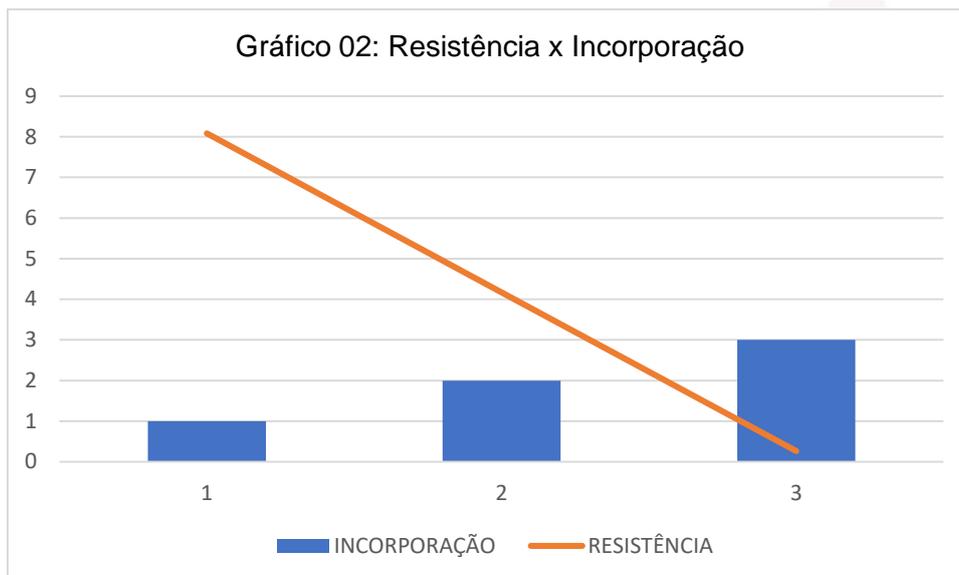
Fonte: Autor próprio (2019).

Em relação ao concreto, e com o percentual de explicação da regressão em reta ao fenômeno de 93% ($R_e = 0,93$), foi encontrado a seguinte equação:

$$Y = 11,99 - 3,91 \times INC(10)$$

Pode-se também observar que com o aumento dos percentuais ao traço do concreto sua resistência a compressão diminui, como pode ser observado na Figura 05.

Figura 05: Relação resistência x incorporação do concreto com cura de 07 dias



Fonte: Autor próprio (2019).

Em conformidade com a ABNT NBR 15812-1:2010, onde a resistência mínima para argamassa de assentamento é 1,5 Mpa, fora observado na análise que, para 3%, 2% e 1% de inclusão do pó de bateadeira, as médias obtidas são, 1,48 Mpa, 12,84 Mpa e 20,84 Mpa, respectivamente, onde a incorporação de 1% atingiu valor médio, superior ao valor da argamassa sem aditivo, que por sua vez, foi de 20,69 MPa.

Para a incorporação dos mesmos percentuais ao concreto (3%, 2% e 1% de pó de bateadeira) efetuada uma semana após os testes da argamassa, foram obtidos valores abaixo do mínimo indicado pela norma NBR 6118, que estabelece resistência mínima de 20MPa, onde a média da resistência do concreto sem aditivo resultou em 14,76 Mpa e os valores da incorporação, resultaram em 0,748 MPA – 3%, 3,168 MPA – 2% e 8,578 MPA – 1%.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos no teste de compressão foram submetidos a Análise da Variância de Experimentos Fatoriais com Tratamentos Adicionais, onde a média do percentual de 1% de incorporação do pó de bateadeira a argamassa apresentou um aumento na resistência em relação a argamassa pura, sendo assim os teores de 1% e 2% de incorporação a argamassa atenderam as normas e podem ser indicados para fins de assentamento de blocos cerâmicos e alvenaria estrutural.

As incorporações ao concreto obtiveram os valores muito abaixo do mínimo sugerido pela norma. Contudo essas incorporações poderiam ser indicadas para o uso em concretos magros, sendo assim uma alternativa de destinação final para o material de descarte em questão, colaborando, portanto, com a preservação ambiental e desenvolvimento sustentável.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR - 5739 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=398444>. Acesso em: 09 de set. de 2019.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=87499>. Acesso em: 09 de dez. de 2019.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR-7215-resistência à compressão do cimento portland. Disponível em: <http://www.abnt.org.br/3571-normas-para-cimento-portland>. Acesso em: 09 de set. de 2019.

AGOPYAN, Vahan. Materiais reforçados com fibras para a construção civil nos países em desenvolvimento: o uso de fibras vegetais. 1991. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

Martin, Adriana R., Martins, Maria A., Mattoso, Luiz H. C., Silva, Odilon R. R. F., Caracterização química e estrutural de fibra de sisal da variedade Agave sisalana. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*. 2009.

NEIVILLE, Adam M. Propriedades do Concreto. 2.ed. São Paulo: Pini, 1997.

R Core Team (2016). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 22 de out. de 2019.

YASSIN, N.; MORAIS, A. R. de; MUNIZ, J. A. Análise de variância em um experimento fatorial de dois fatores com tratamentos adicionais. *Ciência Agrotecnica*, Lavras. P. 1541-1547, dez. 2002.