

ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE BORRACHA DE PNEU E PÓ DE PEDRA NO CONCRETO EM SUBSTITUIÇÃO AOS AGREGADOS

JOSÉ Anselmo da Silva Neto (1); IGOR Alberto Dantas (2); FRANKSLALE Fabian Diniz de Andrade Meira (3); MARCOS Severino de Lima (4)

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, anselmo.neto96@gmail.com (1)

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, igor.dantas@ifpb.edu.br (2)

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, frank_meira@hotmail.com (3)

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, socram.lima2015@gmail.com (4)

Resumo do artigo:

O acentuado consumo de recursos naturais por meio da indústria da construção civil tem motivado inúmeros estudos referentes à aplicação de resíduos que substituam parcialmente ou totalmente alguns materiais como, por exemplo, os agregados. Dessa forma, há uma redução do impacto ambiental a qual é causada pela extração da areia e pelo processo de britagem. A aplicação do pó de pedra oriundo dessa metodologia como agregado para a produção de concretos de cimento Portland é uma alternativa viável, tendo em vista que este material (pó de pedra) é considerado como rejeito no processo de britagem, além dos danos ambientais que sua exploração ocasiona ao meio ambiente. O material citado possui custo reduzido se comparado ao da areia natural pelo fato de ser produzido nos canteiros das próprias pedreiras, onde são localizadas próximas aos grandes centros urbanos. A utilização da borracha do pneu para confecção do concreto tem como objetivo substituir o agregado graúdo com a finalidade de atingir resistência e uniformidade similares. Além disso, há a possibilidade de desenvolver um concreto que cause menor impacto ambiental e, conseqüentemente, contribui para o desenvolvimento sustentável aplicado ao setor da construção civil. Nessa pesquisa científica é realizada a incorporação desses materiais para que supra e acrescente as propriedades mecânicas e físicas, cujas são de extrema importância para o desenvolvimento de um concreto resistente de acordo com as normas em vigor e com o intuito de proporcionar práticas construtivas com modelos sustentáveis de habitação. Desta forma pode-se concluir que esta opção é recomendada tanto pelo aspecto tecnológico como pelo aspecto ambiental.

Palavras-chave: Pó de pedra, impacto ambiental, borracha de pneu.

Introdução

O cenário da construção civil no Brasil tem seus reflexos e projeções de acordo com a situação econômica nacional e internacional. Sua forte relação com o crescimento econômico do país revela o quão frágil e suscetível o setor é, bem como a relevância da cadeia produtiva e sua contribuição na economia através da geração de empregos formais diretos e indiretos dentre outros aspectos.

A busca por sustentabilidade tem sido constante. O crescente número de edifícios com certificado de *Green Building* ou *LEED* no Brasil demonstra que o mercado brasileiro está disposto a investir em novas tecnologias. Estas agregam valor socioeconômico às obras, onde os métodos construtivos proporcionam maior produtividade, economia e redução dos impactos ambientais.

O projeto visa fundamentar-se no “Pensar globalmente, agir localmente” ao focar na necessidade de realinhar as práticas construtivas com modelos sustentáveis de habitação. Para tanto, o uso dos conceitos básicos da arquitetura e a aplicação das inovações dentro das práticas de reutilização e reciclagem poderão contribuir com a preservação do nosso planeta.

A produção e transformação de materiais em produtos finais pode ser considerada como uma das atividades mais importantes de uma economia moderna, principalmente quando a mesma está inserida em conceitos de globalização. Na concepção e fabricação de um novo produto manufaturado, a etapa associada à seleção apropriada dos materiais que o constituirão e ao planejamento do processo de fabricação a ser empregado é essencial.

Além do aspecto da sustentabilidade, outro fator crescente na construção civil é o desempenho da edificação quanto a sua habitabilidade, fator esse que após logas estudos e discussões deu origem a ABNT NBR 15575 2013 – Desempenho de Edificações Habitacionais de até 5 pavimentos. Essa norma vem para estabelecer requisitos mínimos de desempenho nas construções e promover soluções tecnicamente adequadas e economicamente viáveis para os padrões construtivos. Os desempenhos térmico, acústico, de iluminação e antropo-dinâmicos são fatores primordiais para execução de uma edificação e estão amplamente abordados nessa norma. Sua aplicação irá contribuir para a eficiência energética das habitações e proporcionar um maior conforto aos ocupantes da mesma.

A utilização sem limites dos recursos naturais e a produção desenfreada de poluentes por parte da humanidade estão acelerando o processo de aquecimento global. Por conseguinte, provoca a degradação de grandes áreas que influenciam diretamente na qualidade de vida da população.

Ao abordar os conceitos de sustentabilidade e aplicar os métodos e processos construtivos adequados, busca-se conforto térmico, lumínico e antropo-dinâmico. A diminuição dos custos e a melhoria da qualidade habitacional são vantagens dessa abordagem.

Nos dias de hoje se faz necessário o uso tecnologias sustentáveis em habitações, tendo em vista que o concreto é o segundo material no ranking mundial em consumo, perdendo apenas para água. Portanto, torna-se de essencial

relevância o entendimento dos mecanismos para a aplicação de materiais com finalidade sustentável.

Entretanto, desenvolvimento de um concreto resistente depende, a médio e longo prazo, do conhecimento detalhado dos mecanismos envolvidos na interação das microestruturas dos materiais utilizados.

Assim sendo, o estudo de práticas sustentáveis em harmonia com meio ambiente no setor da construção civil visa à redução de materiais convencionais como a brita e o agregado utilizado no concreto. Em contrapartida, a incorporação de materiais naturais que possa suprir e acrescentar tais propriedades é de extrema importância na tentativa de desenvolvimento de um concreto resistente, uma vez que também proporcione estratégias de controle das patologias estruturais.

Essa pesquisa tem como objetivo geral estudar as respostas do concreto, utilizando a borracha reciclada de pneu e o pó de pedra como agregados na sua confecção. Será verificado se a resistência obtida para diversos traços utilizados encontra-se dentro das especificações previstas pelas normas vigentes. Para mais, haverá análises a respeito da trabalhabilidade do concreto ao substituir os agregados convencionais pelos estudados, a capacidade de impermeabilização e absorção de água pelo material por capilaridade. Para tanto, também é necessário caracterizar os materiais através de análises granulométricas (ABNT NBR 7211), teor de material pulverulento nas amostras (NBR 7219/82) e resistência à compressão axial nos corpos-de-prova confeccionados em laboratório.

Metodologia

A Determinação da consistência do material para a verificação de sua trabalhabilidade dá-se pelo ensaio de abatimento do tronco de cone ou Slump test (NM 67, 1998). Com molde de aço em forma de tronco de cone reto, cujo possui dimensões de 300 mm x 200mm x 100 mm (altura x diâmetro superior x diâmetro inferior), haste de aço de 600mm de altura e 16mm de diâmetro para adensamento da amostra.

Absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica (porosidade), para este ensaio, será confeccionado seis corpos-de-prova cilíndricos com diâmetro de 100mm por 200mm de altura, obtendo-se a média aritmética dos resultados de acordo com a norma NBR 9778, (2005). Nos experimentos de absorção de água serão utilizados: Estufa com controle de temperatura microprocessador mod. 515 C e balança eletrônica digital, com capacidade máxima de 2,8 kg e resolução de 0,01 g.

Em cada idade e para cada tipo de cura, serão ensaiados 6 corpos de prova cilíndricos (100mmx200mm). As medições serão feitas ao longo do comprimento do corpo de prova, e por fim, realizaremos o ensaio de compressão axial. Serão produzidos 2 tipos de concretos, a saber tipo C e CN. O concreto do tipo C (convencional) foi assim denominado por ser tomado como referência nos resultados dos ensaios com 0% em relação a substituição dos materiais utilizados.

Os concretos aditivados com borrachas e pó de pedra receberão a denominação NC (Não Convencional). O traço seguido e a quantidade de aditivos incorporado em cada tipo de concreto são resumidos no quadro 01 a seguir:

Quadro 01 - Traço, nomenclatura dos concretos e (%) de substituição.

TRAÇO	TIPO DE CONCRETO	SUBSTITUIÇÃO DE AREIA E BRITA
1: 1,95: 2,11	NC 10	10%
	NC 15	15%
	NC 20	20%
	NC 50	50%

Serão moldados 6 corpos-de-prova (CPs) cilíndricos de dimensões 100mm de diâmetro e 200mm de altura para cada tipo de concreto produzido. Será utilizado o adensamento manual, com 2 camadas, seguida de um número de golpes de socamento de 12 golpes no total, de acordo com a NBR 5738 (2003). Após a moldagem os CPs serão submetidos à cura inicial ao ar livre em seguida serão desmoldados e identificados, para posteriores ensaios de compressão com 7, 14, e 28. A cura final será através da imersão dos CPs em tanques com água suficiente para cobri-los e garantir que permaneçam submersos durante 28 dias, contados a partir da moldagem.

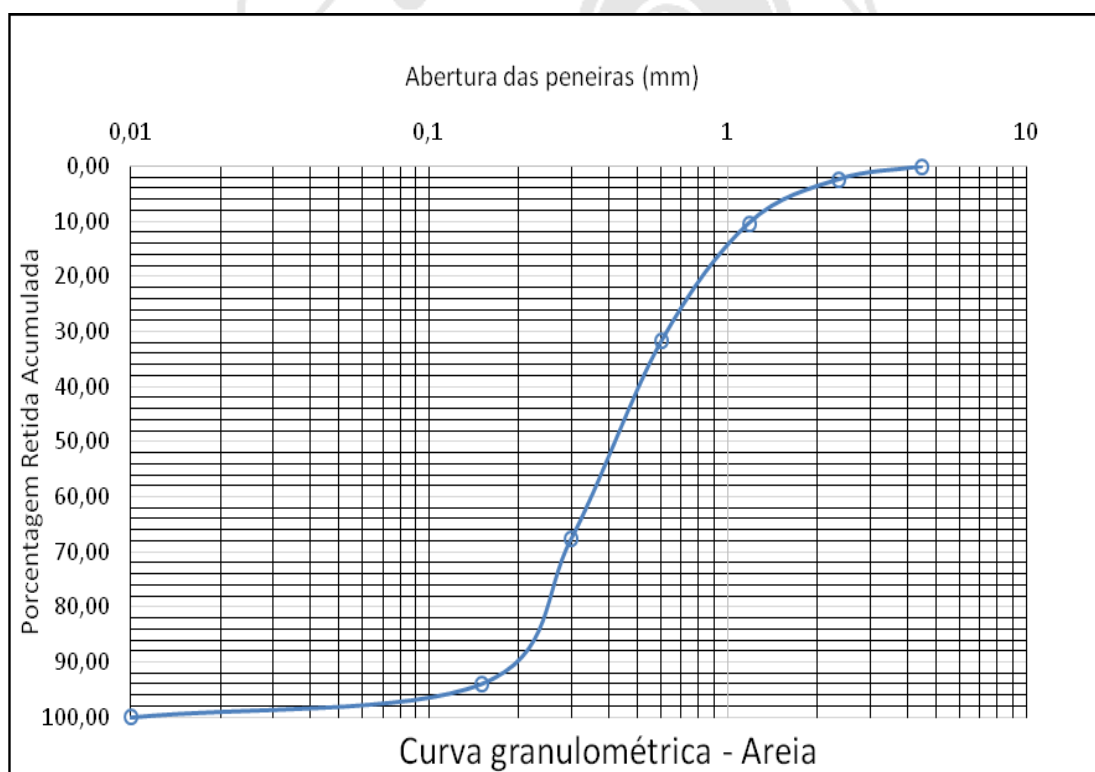
Resultados e Discussão

Os resultados foram obtidos mediante uma série de ensaios, os quais são: análise granulométrica, massa unitária, massa específica pelo método do Frasco de Chapman, ensaios de consistência (slump test) e, por fim, ensaios de compressão.

A análise granulométrica para agregados miúdos é regida pela NBR 7211 (2009), cujos grãos ficam retidos entre as peneiras de malha 4,75 mm e 150 μ m. A partir da massa retida e percentual passante em cada peneira, é possível classificar o agregado de acordo com SELMO (1989), onde a areia é classificada obedecendo a intervalos adotados a partir do seu Módulo de Finura (MF) em areia fina ($MF < 2.0$), areia média ($2.0 < MF < 3.0$) ou areia grossa ($MF > 3.0$).

Na figura 1 é determinado o seu grau de curvatura a partir da geração de uma curva granulométrica com dados obtidos do ensaio anteriormente descrito, em que foi possível perceber uma boa graduação da amostra de areia.

Figura 1: Curva Granulométrica da areia



Além disso, demais resultados obtidos revelam que a areia utilizada na pesquisa apresentou um diâmetro máximo de 2,36 mm e módulo de finura igual a 2,06 (Quadro 2) sendo classificada como média grossa e, conforme, nos mostra a figura 1, a sua curva granulométrica.

Quadro 2 - Composição Granulométrica- AREIA (NBR 7217:2009)

COMPOSIÇÃO GRANULOMETRICA - NBR 7217 – AREIA	
D.máx= 2,36mm	Módulo de finura= 2,06

No que tange os agregados graúdos utilizados no compósito, a pedra britada é o produto de cominuição de rocha que se caracteriza por tamanhos nominais de grãos enquadrados entre 2,4 e 64mm, segundo divisões padronizadas da ABNT constantes nas NBRs 5564, 7174 e 7211. O quadro 3 mostra o resultado do ensaio granulométrico realizado com a brita, obtendo-se um diâmetro máximo de 25mm e um módulo de finura igual a 7,04. Conforme o emprego a que se destinam, a brita é subdividida em diferentes faixas granulométricas. Entretanto, chega-se a conclusão que a brita utilizada para confecção dos corpos de prova de concreto classifica-se como sendo brita 1, a qual é a mais comumente utilizada nos canteiros de obras.

Quadro 3 - Composição Granulométrica- Brita (NBR 7217:2009)

COMPOSIÇÃO GRANULOMETRICA - NBR 7217 – BRITA	
D.máx= 25,00mm	Módulo de finura= 7,04

Para o pó de pedra (quadro 4), material que compõe o traço para dosagem, o diâmetro máximo obtido após análise granulométrica foi de 4,76 mm e módulo de finura igual a 2,36.

Quadro 4 - Composição Granulométrica- Pó de pedra (NBR 7211:2009)

COMPOSIÇÃO GRANULOMETRICA - NBR 7217 – PÓ DE PEDRA	
D.máx= 4,76mm	Módulo de finura= 2,36

Para a borracha de pneu (quadro 5), material que compõe o traço para dosagem, o diâmetro máximo obtido após análise granulométrica foi de 12,5 mm e módulo de finura igual a 1,28.

Quadro 5 - Composição Granulométrica- Borracha de pneu (NBR 7211:2009)

COMPOSIÇÃO GRANULOMETRICA - NBR 7217 – BORRACHA DE PNEU	
D.máx= 12,5	Módulo de finura= 1,28

Nos quadros 6, 7, 8, 9, 10 e 11 são mostrados os ensaios de massa unitária e específica dos agregados a serem utilizados na pesquisa.

A massa unitária da areia, definida como sendo a quantidade de massa capaz de ser acomodada em um recipiente de volume unitário. Salientam os autores ser um importante instrumento na seleção da granulometria das areias. Então, conforme o quadro 6, foi utilizado dois ensaios, usando um recipiente de volume 14997,53 cm³. No primeiro ensaio chegou-se a uma massa de 22350g e o segundo ensaio uma massa de 22600g. Logo, a massa unitária será essa massa dividida pelo volume do recipiente. Chegou-se, aos respectivos valores 1,49g/cm³ e 1,51g/cm³, obtendo-se uma média de 1,50 g/cm³.

Quadro 6 - Massa Unitária- Estado Solto (AREIA) NBR 7251

Massa unitária – estado solto NBR 7251 – Areia		
Volume do recipiente: 14997,53 cm ³		
1ª DETERMINAÇÃO	2ª DETERMINAÇÃO	Massa unitária
22350 g	22600 g	1,50 g/cm³
Massa unitária 1= 1,49 g/cm ³	Massa unitária 2= 1,51 g/cm ³	

A massa específica é a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, sem considerar os poros permeáveis à água. A massa específica também é utilizada para classificação do agregado quanto à densidade. No quadro 7, encontra-se os resultados do ensaio da massa específica da areia através do frasco de Chapman, obtendo a massa específica de 2,64 g/cm³.

Quadro 7 - Massa Especifica- Frasco de Chapman (AREIA) NBR 9776

Massa específica por meio do frasco de Chapman – NBR 9776 - Areia		
Massa areia seca: 500g	Leitura inicial: 200 cm ³	
1ª DETERMINAÇÃO	2ª DETERMINAÇÃO	Massa específica
389 cm ³	391 cm ³	2,64 g/cm ³
Massa específica 1= 2,65 g/cm ³	Massa específica 2= 2,62 g/cm ³	

A massa unitária do pó de pedra, definida como sendo a quantidade de massa capaz de ser acomodada em um recipiente de volume unitário. Salientam os autores ser um importante instrumento na seleção da granulometria das areias. Conforme o quadro 8, foi utilizado dois ensaios, usando um recipiente de volume 14997,53 cm³. No primeiro ensaio chegou-se a uma massa de 22800g e o segundo ensaio uma massa de

23300g. Logo, a massa unitária será essa massa dividida pelo volume do recipiente. Obtendo os respectivos valores $1,52\text{g/cm}^3$ e $1,55\text{g/cm}^3$, obtendo-se uma média de $1,54\text{g/cm}^3$.

Quadro 8 - Massa unitária- Estado Solto (Pó de Pedra) NBR 7251

Massa unitária – estado solto NBR 7251 – Pó de Pedra		
Volume do recipiente: $14997,53\text{ cm}^3$		
1ª DETERMINAÇÃO	2ª DETERMINAÇÃO	Massa unitária
22800 g	23300 g	$1,54\text{ g/cm}^3$
Massa unitária 1= $1,52\text{ g/cm}^3$	Massa unitária 2= $1,55\text{ g/cm}^3$	

A massa específica é a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, sem considerar os poros permeáveis à água. A massa específica também é utilizada para classificação do agregado quanto à densidade. No quadro 9, foi realizado o ensaio do frasco de Chapman como verificação e feito a leitura do pó de brita, obtendo os valores de 382 cm^3 e 381 cm^3 , tendo-se a massa específica $2,76\text{ g/cm}^3$.

Quadro 9 - Massa Específica- Frasco de Chapman (Pó de Pedra) NBR 9937

Massa especifica por meio do frasco de Chapman – NBR 9776 – Pó de pedra		
Massa areia seca: 500g	Leitura inicial: 200 cm^3	
1ª DETERMINAÇÃO	2ª DETERMINAÇÃO	Massa especifica
382 cm^3	381 cm^3	$2,76\text{ g/cm}^3$
Massa especifica 1= $2,75\text{ g/cm}^3$	Massa especifica 2= $2,76\text{ g/cm}^3$	

A massa unitária da brita, definida como sendo a quantidade de massa capaz de ser acomodada em um recipiente de volume unitário. Salientam os autores ser um importante instrumento na seleção da granulometria das brita. Então, conforme o quadro 10, foi utilizado dois ensaios, usando um recipiente de volume $14997,53\text{ cm}^3$. No primeiro ensaio chegou-se a uma massa de 22300g e o segundo ensaio uma massa de 22800g. Logo, a massa unitária será essa massa dividida pelo volume do recipiente. Chegou-se, aos respectivos valores $1,49\text{g/cm}^3$ e $1,52\text{g/cm}^3$, obtendo-se uma média de $1,51\text{ g/cm}^3$.

Quadro 10 - Massa unitária- Estado solto (BRITA) NBR 7251

Massa unitária – estado solto NBR 7251 – Brita		
Volume do recipiente: 14997,53 cm ³		
1ª DETERMINAÇÃO	2ª DETERMINAÇÃO	Massa unitária
22300 g	22800 g	1,51 g/cm ³
Massa unitária 1= 1,49 g/cm ³	Massa unitária 2= 1,52 g/cm ³	

A massa específica é a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, sem considerar os poros permeáveis à água. A massa específica também é utilizada para classificação do agregado quanto à densidade. No quadro 11, foi realizado o ensaio do frasco de Chapman como verificação e feito a leitura da brita, obtendo os valores de 680,5 g/cm³ e 680,5 g/cm³, tendo-se a massa específica 2,77 g/cm³.

Quadro 11 - Massa Específica por meio da Proveta – BRITA (NBR 9937)

Massa específica por meio da Proveta – NBR 9937 – Brita		
Massa de brita seca: 500g		Leitura inicial: 500 cm ³
1ª DETERMINAÇÃO	2ª DETERMINAÇÃO	Massa específica
680,5 cm ³	680,5 cm ³	2,77 g/cm ³
Massa específica 1= 2,77 g/cm ³	Massa específica 2= 2,77 g/cm ³	

No quadro 12, mostra os resultados obtidos através do traço piloto em que se tomará como base para confecção do concreto em substituição dos seus agregados. O rompimento dos corpos de prova aconteceu com 28 dias, conforme a norma 6118 e obteve-se a média de T1= 24,03 MPa e T2= 27,64 MPa, quando esperado era de 25 MPa, ou seja, será tomado como piloto o T2 como referência já que alcançou a resistência esperada.

Quadro 12 - Rompimento dos corpos de Prova

Rompimento dos Corpos de Prova						
Traços piloto: T1 e T2			Data de moldagem: 13/07/2017			
Rompimento aos 28 dias de idade			Obs:			
Data de rompimento: 10/08/2017						
T1	Força (tf)	Resistência (MPa)	T2	Força (tf)	Resistência (MPa)	
CP1=	17,91	22,80	CP1=	22,18	28,24	
CP2=	19,83	25,25	CP2=	21,24	27,04	
		Média			Média	
		= 24,0			= 27,6	

No quadro 13, mostra os resultados obtidos através do traços T10 e T50 em que foi utilizado 10% e 50% na confecção do concreto em substituição dos seus agregados. O rompimento dos corpos de prova aconteceu com 7 dias, conforme a norma 6118 e obteve-se a média de T10= 14,39 MPa e T50= 5,63 MPa, quando é esperado de 25 Mpa aos 28 dias de cura.

Quadro 13 - Rompimento dos corpos de Prova

Rompimento dos Corpos de Prova						
Traços: T10 e T50			Data de moldagem: 31/08/2017			
Rompimento aos 7 dias de idade			Obs:			
Data de rompimento: 07/09/2017						
T10	Força (tf)	Resistência (MPa)	T50	Força (tf)	Resistência (MPa)	
CP1=	11,55	14,71	CP1=	4,78	6,09	
CP2=	11,05	14,07	CP2=	4,06	5,17	

	Média= 14,07		Média= 5,63
--	--------------	--	-------------

Conclusões:

Essa pesquisa científica, busca viabilizar a utilização do pó de pedra e borracha de pneu na produção de concreto para fins estruturais. Isto possibilita uma redução no custo do concreto produzido, principalmente no impacto ambiental decorrente da deposição dos agregados alternativos na natureza. Portanto, esse trabalho foca na importância do desenvolvimento de um concreto resistente de acordo com as normas em vigor e que venha proporcionar estratégias no controle das patologias estruturais.

Referências Bibliográficas

ALVES NETO, J. M. Desenvolvimento e análise de grautes minerais utilizados em reparos de estrutura de concreto. 2001. 116 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone: NBR NM 67. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova: NBR 5738. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica: NBR 5738. Rio de Janeiro, 2005.

CHANDRA, S.; EKLUND, L.; VILLARREAL, R. R. Use of cactus in Mortars and Concrete. Cement and Concrete Research, USA, v. 28, n. 01, p.41-51. 1998.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos físicos e químicos para análise de alimentos. 3. ed. São Paulo: IAL, 1985. v. 1.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 7219/82: Determinação do teor de material pulverulento - Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 7217: Determinação da composição granulométrica- Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 7251: Determinação da massa unitária- Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 9776: Determinação da massa específica pelo frasco de chapman- Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 9937: Determinação da absorção e da massa específica do agregado graúdo- Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15575/2013: Norma de desempenho das edificações- Rio de Janeiro, 2013.

SELMO, S.M.S Dosagem de argamassa de cimento Portland e cal para revestimento externo de fachadas dos edifícios. São Paulo, 1989. Dissertação de mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

