

ARGAMASSA COM ADIÇÃO DE NANO MAGNETITA

Fábio dos Santos Bolzoni – fabio.bolzoni19@gmail.com

Guilherme Haddad Andraus de Oliveira – guihao17@hotmail.com

Lucca Grammenopoulos Moya – luccagmoya@uol.com.br

Victor Boscardin Barbieri – victor.boscardin@gmail.com

Caroline Valadão Pacheco (Orientadora) - caroline.pacheco@mackenzie.br

RESUMO

O presente estudo aborda diversos experimentos já realizados envolvendo a adição de Nano Magnetita em materiais cimentícios, analisando as melhorias obtidas nas propriedades mecânicas e físicas com a adição de teores que variaram entre 0,05% e 5%. Além disso, foram feitos experimentos com a adição de 1%, 3% e 5% do nanomaterial em relação ao cimento em corpos de prova de argamassa, analisando as variações na resistência à compressão, nos índices de absorção e de vazios e na velocidade de propagação das ondas por ultrassom, aos 7, 14 e 28 dias de cura dos corpos de prova. Os resultados obtidos apontam a melhora em até 23% na resistência à compressão, uma diminuição de até 10% na absorção de água e no índice de vazios e o aumento da velocidade de propagação das ondas de ultrassom.

Palavras-chave: Nano Magnetita. Argamassa. Propriedades mecânicas e físicas.

MORTAR WITH THE ADDITION OF NANO MAGNETITE

ABSTRACT

The present study addresses several experiments already carried out involving the addition of Nano Magnetite in cementitious materials, analysing the improvements obtained in the mechanical and physical properties with the additions of contents that varied between 0,05% and 5%. Besides that, experiments were carried out with the addition of 1%, 3% and 5% of the nanomaterial in relation to cement in mortars specimens, analysing the variations in the compressive strength, in the absorption of water and void ratio and in the speed of the propagation of ultrasound waves, after 7, 14 and 28 days of curing of the specimens. The results obtained shows an improvement of up to 23% in the compressive strength, a decrease of up to 10% in water absorption and void ratio and an increase in the speed of the propagation of ultrasound waves.

Keywords: Nano Magnetite. Mortar. Mechanical and physical properties.

1 INTRODUÇÃO

A construção civil está, atualmente, sob influência da segunda revolução do concreto. A primeira ocorreu com o surgimento do concreto protendido em 1928, o qual transformou o concreto no segundo material mais consumido no planeta, atrás apenas da água. A revolução atual nasceu a partir da descoberta da nanotecnologia e do uso de nanotubos de carbono no cimento. A nanotecnologia, apontada como a mais recente das inovações tecnológicas, visa propiciar mudanças nas áreas da tecnologia, como informática, saúde, área militar, energia e na construção civil (ENGELMANN & FILHO, 2010, p. 51).

Nanomateriais são aqueles que contém partículas com um comprimento entre 1 e 100 nanômetros, de acordo com a definição da Comissão Europeia. A nanotecnologia se fundamenta no desenvolvimento de técnicas e de ferramentas adequadas para posicionar os átomos e moléculas destes materiais em locais previamente estabelecidos, a fim de obter melhorias no que diz respeito a durabilidade, resistência e menor custo de produção. Essas melhorias trazem benefícios de produtividade, performance e de sustentabilidade, compensando a longo prazo o elevado custo inicial, segundo Ribeiro (2006). As nanopartículas tipicamente usadas são argilas, nano tubos de carbono, aditivos químicos como a sílica, carboneto de cálcio, alumina, óxido de zinco etc. (ZOU et al., 2008, SUPOVÁ et al., 2011).

No que tange à sustentabilidade, há redução do consumo de água, das emissões de CO₂ e melhorias na eficiência energética. Além disso, os aditivos nanocompósitos diminuem o tempo de desmoldagem, evitando a cura a vapor e garantindo uma melhora da durabilidade, além de ser um inibidor de corrosão para o concreto armado.

Com o constante interesse em criar e desenvolver melhorias nas qualidades dos elementos cimentícios, estudos recentes apontam a possibilidade da utilização da Nano Magnetita. Segundo Araújo (2011, apud Scopel, 2016), este nanomaterial possui propriedades diferenciadas pela alta razão entre área superficial e volume, tais como reatividade, ponto de fusão e cor, além de apresentar o fenômeno do superparamagnetismo, que ocorre quando as partículas são magnetizadas apenas na presença de um campo magnético externo. O presente estudo visa avaliar experimentos já realizados com a adição desse nanomaterial em materiais cimentícios, replicando esses estudos a fim de confirmar os resultados obtidos.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar as modificações nas características dos materiais cimentícios oriundas da adição da Nano Magnetita e as vantagens que esse aditivo pode trazer para a engenharia civil.

1.1.2 Objetivos específicos

Analisar estudos já realizados envolvendo a adição da Nano Magnetita em materiais cimentícios, comparar as variações em diferentes propriedades mecânicas e físicas da argamassa com o aumento do teor do nanomaterial e incentivar novas pesquisas sobre o tema.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 ARGAMASSA

No ramo da construção civil, é natural que os materiais empregados isoladamente ou compondo sistemas, exerçam uma função específica e bem definida. Tratando de argamassa, é visível que ela não é considerada isoladamente como um material, e sim como um elemento de um sistema, levando muito em conta sua interação com o ambiente e os outros materiais componentes da estrutura.

A NBR 13529 (ABNT, 1995) define a argamassa como “uma mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento”. Da mesma forma, Sabbatini (1986, apud SILVA, 2006) descreve-a como um material complexo, constituído essencialmente de materiais inertes de baixa granulometria (agregados miúdos) e de uma pasta com propriedades aglomerantes, composta por minerais e água (materiais ativos), podendo ser composto, ainda, por produtos especiais, denominados aditivos.

Suas funções variam, podendo ser classificadas de acordo com suas características e utilizações em obra:

- Argamassa de assentamento: promover a vedação de elementos estruturais;
- Argamassa de revestimento: cobrir, nivelar e proteger superfícies;
- Argamassa para pisos: promove a aderência entre contrapiso e piso;
- Argamassa impermeabilizante: protege paredes e tetos, impermeabilizando-os.

A argamassa e outros materiais produzidos a partir do cimento têm como característica a elevada resistência à compressão e a pequena resistência à tração. Sabe-se que a porosidade afeta a durabilidade desses materiais, devido à deterioração causada pelo meio ambiente, especialmente pelos íons presentes que provocam “ataques químicos”, afetando os materiais de reforço que, quando metálicos, ficam sujeitos à corrosão.

2.2 NANOMATERIAIS

O conceito de nanotecnologia foi originalmente apresentado pelo físico norte-americano Richard Feynman em 1959, na sua palestra intitulada “*There’s Plenty of Room at the Bottom*”, no encontro da Sociedade Norte-Americana de Física na *CalTech*, onde sugeriu que existe um campo da física ainda por estudar e, portanto, um novo mundo de possibilidades ao nível molecular (PACHECO-TORGAL e JALALI, 2011).

Pacheco-Torgal e Jalali (2011) também explicam que a nanotecnologia pode ser definida como a manipulação da matéria à escala nanométrica, ou seja, ao nível das nanopartículas. Uma nanopartícula é caracterizada por apresentar pelo menos uma das suas dimensões entre 1 e 100 nanômetros. Como comparação, e para ser mais perceptível a dimensão da escala nanométrica, salienta-se que um fio de cabelo humano possui uma espessura de 80000 *nm* e que a hélice dupla do *DNA* humano possui um diâmetro de 2 *nm*.

As diferentes formas com as quais os nanomateriais são apresentados sob a forma de partículas levam à necessidade de caracterizar as partículas de acordo com suas propriedades. Lin (2014) ressalta que a caracterização é fundamental para explorar o potencial dos nanomateriais e otimizar os resultados. A classificação busca determinar a composição química, tamanho e forma das partículas, caracterizar a superfície, além de determinar a sua dispersão, estabilidade térmica e acústica.

Segundo Modesto (2017), os nanomateriais são classificados de acordo com sua composição, podendo ser a base de carbono ou metais, dendrímeros, que são basicamente polímeros com estrutura composta por diversos ramos e, por fim, compósitos, que são combinações de nanopartículas com materiais de dimensões superiores, não tendo todas as suas dimensões na escala nanométrica.

Os estudos com nanopartículas são considerados bastante promissores na busca pelo avanço tecnológico e melhorias nas construções. Segundo a pesquisa realizada por Flores-Colen, Soares e Brito (2013), é possível dividir os nanomateriais em 3 grupos de acordo com as melhorias:

- Nas características físicas, químicas e mecânicas da argamassa;
- Na superfície e acabamento, devido às propriedades de autolimpeza;
- No rendimento térmico e acústico das argamassas.

Segundo Nano Werk (2012), a construção civil ocupa a 8ª posição entre os setores com maior suscetibilidade de introdução da nanotecnologia, e acredita que o uso e a exploração da

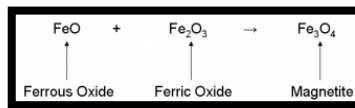
nanoengenharia de materiais à base de cimento Portland podem resultar em características melhores, quando comparado aos materiais sem o uso dessa tecnologia.

A elevada área superficial específica dos nanomateriais alteram a microestrutura das argamassas, garantindo melhorias nas características e propriedades dela. Entretanto, afetam de maneira negativa a trabalhabilidade e a reologia das argamassas, e por isso é muito importante garantir a dispersão desses aditivos. Soma-se a isso a toxicidade da inalação das nanopartículas e o elevado custo por trás dessa adição, além da escassez de informações, sendo necessários mais estudos e análises buscando mitigar ou justificar os fatores limitantes.

2.3 NANO MAGNETITA

A Magnetita (Fe_3O_4) é um Óxido de Ferro, caracterizado por suas propriedades magnéticas e originado a partir da reação entre Óxido Ferroso (FeO) e Óxido Férrico (Fe_2O_3). O Óxido Ferroso é caracterizado pelo elemento Ferro com 2 elétrons disponíveis na camada de valência (Fe^{2+}), enquanto o Óxido Férrico apresenta o elemento Ferro com 3 elétrons na camada de valência (Fe^{3+}) (BLANEY, 2007). Na Figura 1, podemos observar, de forma simplificada, a reação química que sintetiza a Magnetita.

Figura 1 – Reação química simplificada da sintetização da Magnetita.

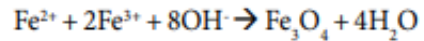


Fonte: Adaptado de Blaney (2007).

Devido às propriedades magnéticas do material, o estudo em escala nanométrica ganhou interesse. O processo de síntese das nanopartículas de Magnetita (nano- Fe_3O_4) é complexo por conta da natureza coloidal. Francisquini et al. (2015) menciona que a produção pode ocorrer por meio da síntese por decomposição térmica, por reações hidrotermais, por microemulsão e, por último e mais utilizado, por coprecipitação, considerando a sua simplicidade e eficiência.

A coprecipitação é uma via química de produção das nanopartículas de Magnetita, na qual os Óxidos de Ferro são preparados a partir de uma mistura de sais férricos e ferrosos em meio aquoso, com adição de uma base forte, como cloretos, sulfatos e nitratos (FRANCISQUINI et al., 2015). Na Figura 2, temos a reação química na coprecipitação.

Figura 2 – Reação química na coprecipitação.



Fonte: Adaptado de Francisquini et al. (2015).

Branco (2013) cita que a produção de nanopartículas por esse método é simples e apropriada para produção em massa, além de possuir a vantagem de ser hidrofílica, dada a realização em solução aquosa. Contudo, apresenta um baixo limite de temperatura a qual pode ser submetida (100°C – temperatura de ebulição da água), o que reflete no baixo controle de tamanho, forma, distribuição e cristalinidade.

Analisando os estudos já realizados envolvendo a adição da nano-Fe₃O₄ em pastas cimentícias, argamassa e concreto, resultados semelhantes foram encontrados. Em geral, a adição deste nanomaterial torna os materiais cimentícios mais resistentes e com maior vida útil.

Um dos pontos mais importantes que devem ser observados ao adicionar a Nano Magnetita nos materiais de construção civil é a maneira que suas nanopartículas são dispersadas nas misturas. Diversos estudos com nanomateriais em geral comprovam a diferença que a dispersão correta do material pode fazer nos resultados finais. O método mais comum é a dispersão pelo método ultrassônico, que gera forças de cisalhamento maiores que as forças de ligação entre os nanomateriais, conseguindo quebrar suas moléculas e dispersá-las de maneira mais eficiente. A Figura 3 ilustra o método ultrassônico de dispersão em execução.

Figura 3 - Método ultrassônico de dispersão em execução.



Fonte: https://www.hielscher.com/nano_01.htm

Sikora et al. (2016) realizaram estudos com a nano-Fe₃O₄ dispersadas por apenas 1 minuto, e o resultado foi a queda na resistência à flexão dos corpos de prova estudados, chegando a quase 9% em uma amostra contendo 5% do material em relação ao cimento. Posteriormente, os mesmos autores, Sikora et al. (2018, apud Horszczaruk, 2019), realizaram o mesmo experimento, só que dessa vez dispersando as nanopartículas durante 30 minutos no ultrassom. O resultado dessa vez foi o aumento da resistência à flexão nas amostras com a nano-Fe₃O₄, que variou entre 8 e 12%, com as mesmas quantidades do nanomaterial utilizadas anteriormente.

Em relação às propriedades mecânicas que são afetadas nos materiais cimentícios com a adição da Nano Magnetita, a resistência à compressão é a mais estudada por autores. Em geral, a adição do material traz o aumento dessa resistência, pois o nanomaterial contribui preenchendo os vazios da argamassa/concreto, tornando-os mais densos e resistentes.

Reunimos estudos já realizados envolvendo a adição do nanomaterial estudado, e a resistência à compressão quase sempre sofreu um aumento com a adição do nanomaterial estudado. Em algumas exceções, como no experimento realizado por Lesbayev et al (2017), foi encontrado uma diminuição nessa resistência. A provável causa desse resultado é a utilização do material sem a dispersão correta que, como já abordado anteriormente, pode afetar os resultados finais. A Tabela 1 reúne os experimentos estudados, com a relação utilizada pelos autores e o tempo de cura das amostras, apresentando por fim os resultados de variação da resistência à compressão em porcentagem.

Tabela 1 – Resultados de resistência à compressão encontrados por diversos autores.

Autor	Relação Utilizada (%)	Observações	Melhorias obtidas (%)		
			3 dias	7 dias	28 dias
Bolhassani and Sayyahmanesh (2015)	0,05%	-	0,00%	3,77%	4,22%
	0,10%	-	4,65%	7,54%	15,71%
	0,20%	-	11,62%	24,52%	-5,63%
Bragança et al. (2016)	1,00%	-	-	-	6,43%
Gobi (2017)	1,00%	-	-	11,00%	3,20%
He et al. (2018)	5,00%	Magnetita fluída	35,80%	15,00%	-
	5,00%	Magnetita em pó	24,50%	7,30%	-

Autor	Relação Utilizada (%)	Observações	Melhorias obtidas (%)		
			3 dias	7 dias	28 dias
Jaishankar e Mohan (2015)	1,50%	-	-	-	4,92%
Lesbayev et al. (2017)	0,50%	Magnetita em pó dispersada com cimento	-	-	-11,65%
	0,50%		7,70%	2,70%	1,80%
Mansouri et al. (2019)	0,75%	-	11,30%	6,40%	4,10%
	1,00%	-	12,90%	11,60%	7,60%
	2,00%	-	21,70%	18,00%	10,80%
	3,00%	-	11,80%	6,60%	3,10%
	1,00%	-	-	-	2,13%
Sikora et al. (2016)	3,00%	-	-	-	19,15%
	5,00%	-	-	-	8,51%
	1,50%	-	-	-	28,93%

A resistência à tração é outra propriedade mecânica estudada por alguns autores. Em geral, bons resultados também têm sido encontrados. A Tabela 2 lista os resultados em questão.

Tabela 2 – Resultados de resistência à tração encontrados por diversos autores.

Autor	Relação Utilizada (%)	Observações	Melhorias obtidas (%)		
			3 dias	7 dias	28 dias
Gobi (2017)	1,00%	-	-	-3,70%	14,00%
Jaishankar e Mohan (2015)	1,50%	-	-	-	25,00%
Shekari e Razzaghi (2011)	1,50%	-	-	-	26,30%

O preenchimento dos poros por parte da nano-Fe₃O₄ influencia também na absorção de água das amostras de argamassa/concreto. A tendência é que a absorção seja menor, justamente pelo fato de o nanomaterial preencher os poros e diminuir a quantidade de vazios existentes nessas amostras. Reunimos alguns experimentos e os resultados foram conforme o esperado, com exceção do aumento de 11% na absorção encontrado por Gobi (2017). A Tabela 3 ilustra os resultados encontrados, com destaque para a redução de 82% encontrada por Shekari e Razzaghi (2011), utilizando um teor de 1,50% do material estudado em relação ao cimento.

Tabela 3 – Absorção de água encontradas por diversos autores.

Autor	Relação Utilizada (%)	Observações	Melhorias obtidas (%)		
			3 dias	7 dias	28 dias
Gobi (2017)	1,00%	-	-	-	11,00%
	0,50%	-	-	-5,40%	-
	0,75%	-	-	-9,20%	-
Mansouri et al. (2019)	1,00%	-	-	-14,00%	-
	2,00%	-	-	-15,90%	-
	3,00%	-	-	-15,90%	-
Shekari e Razzaghi (2011)	1,50%	-	-	-	-82,00%

Por fim, reunimos alguns experimentos feitos analisando a penetração por Cloretos nas amostras dos materiais cimentícios. O esperado é que, com a diminuição de vazios, menos íons de Cloreto consigam penetrar na argamassa/concreto, o que foi comprovado com os resultados obtidos, expostos na Tabela 4.

Tabela 4 – Penetração por íons de Cloreto encontradas por diversos autores.

Autor	Relação Utilizada (%)	Observações	Melhorias obtidas (%)		
			3 dias	7 dias	28 dias
Mansouri et al. (2019)	1,00%	-	-	-	-15,60%
	2,00%	-	-	-	-16,60%
Shekari e Razzaghi (2011)	1,50%	-	-	-	-20,42%

Partindo agora para alguns usos atuais da Nano Magnetita, ela pode ser vista em revestimentos anticorrosivos especiais, silicones, plásticos, borrachas, ligas, baterias de fosfato de ferro e lítio, selos magnéticos, materiais resistentes ao desgaste etc. Ela se destaca por sua resistência ao calor, podendo resistir a temperaturas de até 450°C, perdendo suas propriedades magnéticas em temperaturas maiores que essa. Além disso, esse nanomaterial demonstra alto desempenho magnético, com uma magnetização de alta saturação e baixo custo. Assim, tem sido amplamente estudada como um absorvedor de micro-ondas (HORSZCZARUK, 2019).

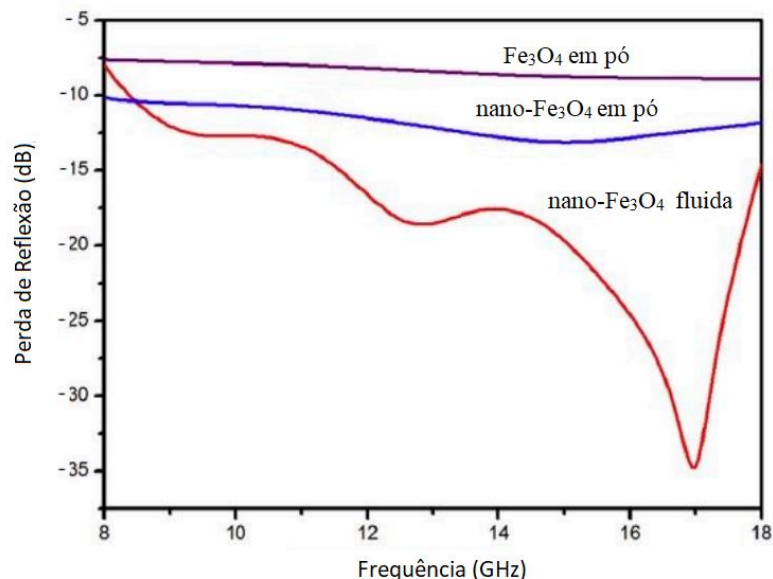
A humanidade encontrou variados usos para essas micro-ondas, como para a produção industrial, comunicação sem fio, tecnologia militar e na vida cotidiana. No entanto, a radiação eletromagnética causa contaminação ambiental, e é potencialmente prejudicial à saúde, além de poder ser uma fonte de ruído na transmissão de informações. De acordo com Horszczaruk

(2019), seus efeitos negativos têm sido uma grande preocupação, e o desenvolvimento de materiais que as absorvem se torna importante em aplicações militares e civis, como furtividade, proteção contra interferências de micro-ondas e câmaras.

He et al. (2018) realizou pesquisas a fim de tentar adicionar diferentes absorventes ao cimento para melhorar a absorção de ondas eletromagnéticas pelos materiais de construção cimentícios. Foi investigada então, a possibilidade de usar nano-Fe₃O₄ na forma líquida, como uma mistura para aumentar a absorção eletromagnética. O fluido magnético de nano-Fe₃O₄ foi preparado pelo método de coprecipitação. A mistura líquida obtida foi utilizada para preparar as argamassas de cimento.

A análise considerada mostra que a perda de reflexão eletromagnética do compósito à base de cimento varia com o conteúdo de fluido magnético do nanomaterial. A melhor absorção foi obtida com um conteúdo de 5% do nanomaterial em relação a massa de cimento, em que a largura de banda de absorção com perda reflexão menor que -10 dB e menor que -15 dB foi cerca de 9,5 GHz e 6,3 GHz, respectivamente. A Figura 4 ilustra os resultados obtidos pelo autor.

Figura 4 – Resultados de perda de reflexão com o aumento da frequência.



Fonte: Adaptado de He et al. (2018).

Outra tendência crescente tem sido observada no número de estudos focados na busca de materiais de construção que oferecem proteção à radiação gama. A base desses estudos é o concreto blindado, fabricado com agregados pesados naturais e artificiais. Neste contexto, tem

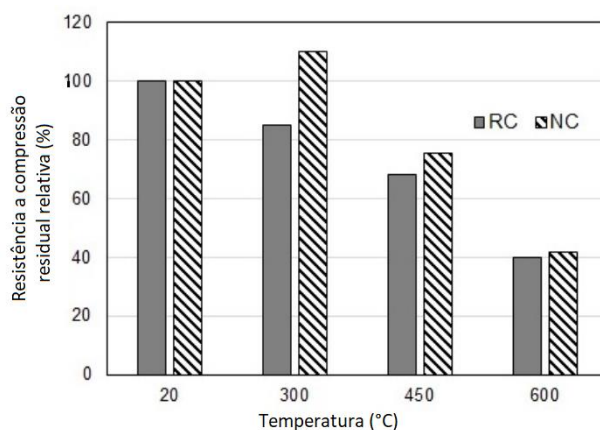
crescido o interesse pelos diversos nanomateriais, entre eles o SiO_2 , Fe_3O_4 e PbO_2 em suas formas nanométricas.

Para concretos específicos estruturais explorados em usinas nucleares, há a necessidade de resistência à alta temperatura, bem como em outros objetos possivelmente expostos à radiação. A camada de blindagem interna do concreto é frequentemente sujeita ao calor do reator, onde a temperatura pode atingir até 360°C . O fogo só ocorre em situações de emergência ou excepcionais, portanto a durabilidade do concreto estrutural sob altas temperaturas é muito importante, independente do destino do objeto (HORSZCZARUK, 2019).

Utilizando-se da adição de Nano Magnetita, o autor constatou através de experimentos que, para o fim citado, os resultados são promissores. Como o teor total de nano- Fe_3O_4 utilizado pelo autor na massa do concreto é inferior a 1%, valor considerado pequeno, a possibilidade de utilização desse tipo de nanopartículas em compósitos cimentícios, principalmente em materiais de reparo, é viável e deve ser estudada de uma forma mais abrangente.

No mesmo estudo, as nanopartículas de óxidos de ferro foram testadas quanto à melhoria na resistência térmica de compósitos de cimento. A pesquisa descrita em Amer et al. (2015) e Heikal (2016), a respeito da influência das nanopartículas de Fe_3O_4 na resistência térmica, demonstraram que, pequenas quantidades (1% em relação ao cimento) do nanomaterial, podem melhorar a resistência ao fogo de pastas de cimento, graças ao aumento da resistência à compressão residual. Além disso, observou-se que a presença de Nano Magnetita em matrizes de cimento causa uma diminuição no comprimento das fissuras formadas. A Figura 5 ilustra o resultado obtido pelos autores, sendo RC o concreto referência e NC o concreto contendo o nanomaterial.

Figura 5 – Variação da resistência à compressão com o aumento da temperatura.



Fonte: Adaptado de Horszczaruk (2019).

Dentre as propriedades dos compósitos de cimento modificados com Nano Magnetita, o aumento da capacidade de absorção de ondas eletromagnéticas e melhoria na capacidade de blindagem dos compósitos contra a radiação gama é o que a diferencia de outros nanomateriais.

Além disso, Silva (2016) demonstra a capacidade da produção do nanomaterial por meio de rejeitos da indústria mineral, aproveitando materiais antes descartados. O processamento de rocha fosfática em Catalão/GO/Brasil, local destacado pelo autor, produz altos volumes de Magnetita. Um de seus benefícios tangentes seria a obtenção de uma renda extra para a indústria mineral, com um coproduto que reduziria custos e que, ambientalmente, gera um menor gasto de água na sua aplicação com concreto.

3 METODOLOGIA

Esse trabalho foi desenvolvido a partir da revisão literária de estudos indicando as consequências da adição da Nano Magnetita em argamassa e/ou concreto, seguida de ensaios práticos com a adição de nano- Fe_3O_4 nesses materiais cimentícios, para determinar as características adquiridas a partir desse nanomaterial. Na Figura 6, temos a Nano Magnetita utilizada para a realização dos ensaios.

Figura 6 – Quantidade de Nano Magnetita disponível.



Fonte: Acervo dos autores.

A determinação dos ensaios que seriam realizados, bem como a moldagem dos corpos de prova e a elaboração do traço de argamassa, foram baseados em pesquisas e estudos anteriores, buscando assim confirmar os resultados encontrados.

A porcentagem de nanomaterial considerada na moldagem dos corpos de prova teve como base o estudo realizado por Sikora et al. (2016), onde foi possível determinar a

porcentagem ótima de 3% de nano-Fe₃O₄ em relação ao cimento. Para tanto, utilizamos as porcentagens de 0% para o traço de referência, 1%, 3% e 5%, procurando encontrar uma curva de crescimento até os 3% e queda a partir dele, assim como o autor. É importante mencionar que os resultados podem ser afetados pelo fato de não termos utilizado a dispersão ultrassônica assim como o autor, tendo adicionado o nanomaterial junto ao cimento durante a mistura da argamassa.

3.1 TRAÇO DA ARGAMASSA

O traço é a proporção em massa dos constituintes da argamassa em comparação com 1 unidade de cimento. É a partir dessa combinação que se garantem as propriedades de resistência, durabilidade e trabalhabilidade do material.

Os insumos utilizados para elaboração do traço referente a esse trabalho foram: Cimento CP V – ARI (Alta Resistência Inicial), areia média e o aditivo nano-Fe₃O₄ conforme as porcentagens descritas anteriormente. O cimento ARI é caracterizado por atingir altas resistências logo nos primeiros dias de aplicação, isso se deve a dosagem de calcário e argila na produção do clínquer, além da moagem mais fina do cimento.

Para a determinação do traço levou-se em consideração a quantidade de Nano Magnetita disponível (56 gramas) e também as dimensões dos moldes de corpo-de-prova (5 cm de diâmetro por 10 cm de altura). Optamos pela utilização do traço 1:3:0,55 e, em massa, utilizamos 100 g de cimento, 300 g de areia média e 55 ml de água para cada corpo de prova.

3.2 MISTURA DA ARGAMASSA

Para garantir uma melhor homogeneização dos componentes da argamassa e melhor distribuição do nanomaterial, optou-se pela utilização da batedeira, também conhecida popularmente como argamassadeira. A mistura seguiu como base os procedimentos da NBR 13276:2016.

O processo foi realizado quatro vezes consecutivas, variando apenas o teor de Nano Magnetita nas porcentagens de 0%, 1%, 3% e 5% em relação à massa de cimento. Na Figura 7, temos a batedeira utilizada para produção da argamassa.

Figura 7 – Batedeira utilizada para mistura da argamassa.



Fonte: Acervo dos autores.

3.3 PRODUÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA

Os corpos-de-prova foram moldados em formato cilíndrico com 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura. A produção teve como base as normas NBR 6118 (ABNT, 2014), NBR 7212 (ABNT, 2012), NBR 7215 (ABNT, 1995) e NBR 9479 (ABNT, 2006), as quais determinam, respectivamente, procedimentos para dimensionamento e produção dos corpos, incluindo dosagem, controle de qualidade, moldagem e cura.

A moldagem consistiu em lançar a argamassa nos corpos de prova em três camadas, com 12 golpes cada. Em seguida, os corpos de prova foram identificados e mantidos em câmara úmida para garantir a cura necessária, sendo a temperatura controlada em aproximadamente 22°C e a umidade relativa de 96%. Na Figura 8, temos os moldes dos corpos de prova devidamente identificados com a numeração de 1 a 24.

Figura 8 – Moldes dos corpos de prova identificados.



Fonte: Acervo dos autores.

Foram moldados um total de 24 corpos de prova, sendo 6 de referência, sem a presença de nanomaterial, e os outros 18 variando entre 1%, 3% e 5% de nano-Fe₃O₄ (6 para cada teor) em relação à massa de cimento. Com essa quantidade, garantimos 2 corpos de prova de cada porcentagem, para serem ensaiados ao final das curas de 7, 14 e 28 dias.

3.4 CARACTERIZAÇÃO DA ARGAMASSA

3.4.1 Resistência à compressão

A resistência à compressão é a propriedade ligada à estabilidade e, conseqüentemente, à segurança. Com ela, é possível determinar variações na qualidade do material. O ensaio de resistência à compressão é conduzido de acordo com a NBR 13279 (ABNT, 2005).

Para execução foi utilizada a máquina universal de ensaios, a qual permite realizar diversos experimentos mecânicos. O resultado é dado em kgf, sendo essa a carga máxima suportada pelo corpo, que então é dividida pela área da seção transversal do corpo de prova para se obter a resistência à compressão, representada em MPa. Na Figura 9, pode-se observar a máquina universal de ensaios utilizada para o experimento.

Figura 9 – Máquina universal de ensaios.



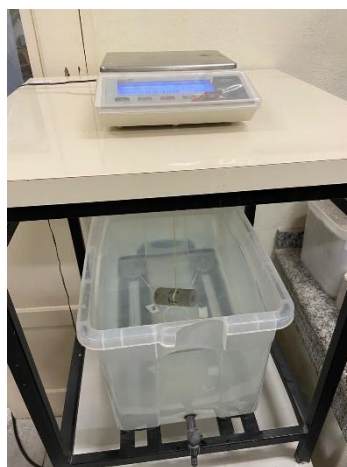
Fonte: Acervo dos autores.

3.4.2 Absorção de água por imersão e determinação do índice de vazios

Os ensaios são descritos pela NBR 9778 (ABNT, 2005). A absorção de água por imersão consiste em conduzir a água para ocupar os poros do corpo de prova, enquanto a determinação do índice de vazios é a relação entre volume de poros comparado ao volume total.

A execução consiste em inicialmente manter o corpo de prova em estufa durante 72 horas com temperatura controlada de 105°C, e então pesá-lo e obter a massa da amostra seca. Em seguida, deve-se imergir o corpo de prova em água com temperatura ambiente (23°C) e aguardar 72 horas. Após isso, corpo é retirado da água e obtém-se sua massa saturada. Por fim, determina-se o peso do corpo imerso em água, com auxílio da balança hidrostática. A Figura 10, mostra a utilização da balança durante os experimentos.

Figura 10 – Balança hidrostática utilizada.



Fonte: Acervo dos autores.

A absorção de água é a razão da diferença entre peso saturado e seco pelo peso seco. Já o índice de vazios é a razão entre as diferenças do peso saturado e seco por peso saturado e imerso. Ambos os resultados são multiplicados por 100 para serem representados em porcentagem.

3.4.3 Determinação da velocidade do pulso ultrassônico

O ensaio consiste em determinar a velocidade com que as ondas de compressão percorrem os corpos de prova de argamassa. A premissa é de que, quanto maior a velocidade obtida no ensaio, maior a resistência e menor o índice de vazios.

Os procedimentos para realização do ensaio de determinação da velocidade de propagação do pulso da onda ultrassônica através da argamassa são descritos pela NBR 15630 (ABNT, 2009). Para realização do ensaio, é informado a distância a ser percorrida pelas ondas, que nesse caso é a altura de cada corpo de prova, e acoplados transdutores nas duas extremidades do corpo-de-prova, os quais geram um pulso. O resultado é a velocidade com que

o ultrassom passa pelo corpo de prova, expressa em metros por segundo. A Figura 11 ilustra o aparelho utilizado para esse experimento.

Figura 11 – Aparelho utilizado para realização do ensaio de ultrassom.



Fonte: Acervo dos autores.

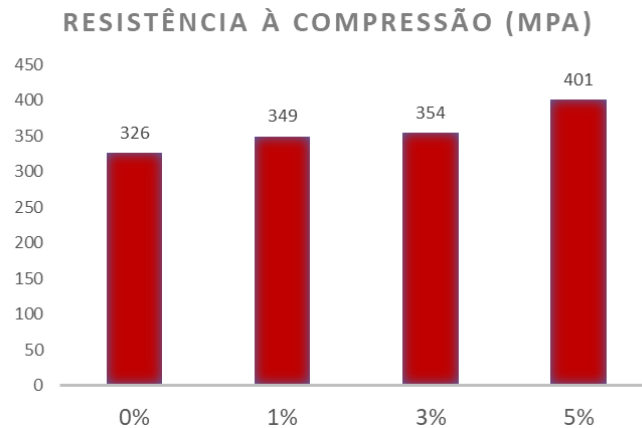
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados a seguir são referentes aos corpos de prova com 28 dias de cura. Os ensaios com 7 e 14 dias apresentaram resultados inconclusivos, não condizentes com o esperado segundo a revisão bibliográfica, apresentando variações incoerentes.

Como já mencionado também, não dispersamos o nanomaterial pelo método ultrassônico, que geralmente é o mais aconselhado para esses tipos de experimentos. O material foi adicionado em conjunto com o cimento, o que pode afetar a homogeneidade da mistura e trazer resultados que não refletem a real alteração causada pela nano-Fe₃O₄.

Partindo para o ensaio de resistência à compressão, o corpo de prova de referência (0% de nanomaterial) rompeu com uma carga muito abaixo dos outros corpos contendo a Nano Magnetita, apresentando muita areia em seu interior. Portanto, fizemos uma projeção a partir dos resultados obtidos após 7 e 14 dias para poder comparar com a resistência aos 28 dias dos corpos de prova contendo o nanomaterial. O resultado está ilustrado na Figura 12, onde a resistência à compressão cresceu conforme o aumento de teor de nano-Fe₃O₄, chegando a um aumento de até 23% no teor de 5%, em relação ao traço de referência.

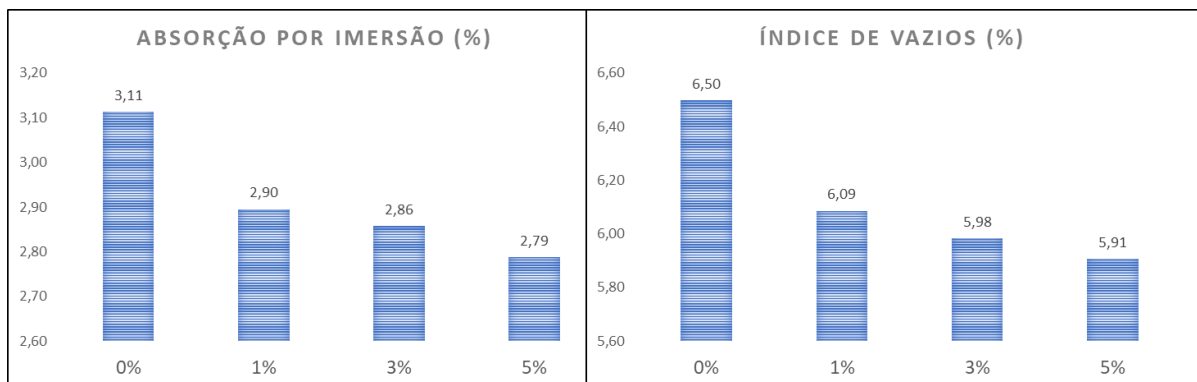
Figura 12 – Resultados da resistência à compressão (MPa).



Fonte: Acervo dos autores.

A absorção de água por imersão e o índice de vazios se comportaram conforme o esperado. Com a adição do nanomaterial, os corpos de prova passaram a absorver menos água e, conseqüentemente, o índice de vazios abaixou. A causa provável desses resultados é o preenchimento por parte da nano- Fe_3O_4 dos vazios da argamassa, conforme já mencionado anteriormente. A diminuição chegou em até 10% no índice de absorção e 9% no de vazio, ambos no traço contendo 5% do material. A Figura 13 apresentam os resultados obtidos.

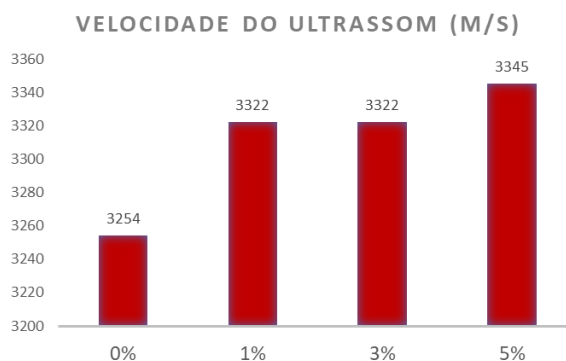
Figura 13 – Resultados dos ensaios de absorção por imersão e índice de vazios (%).



Fonte: Acervo dos autores.

Por fim, foi analisado a velocidade de propagação das ondas por ultrassom, que também se comportou conforme o esperado, aumentando junto com o teor de Nano Magnetita. Isso se deve à diminuição no índice de vazios, que permite que as ondas percorram o corpo de prova com maior facilidade e velocidade. Os resultados obtidos estão ilustrados na Figura 14.

Figura 14 – Resultados da velocidade do ultrassom (m/s).



Fonte: Acervo dos autores.

Os resultados obtidos são promissores, sendo possível observar que a adição da Nano Magnetita realmente otimiza as propriedades estudadas da argamassa. As melhorias observadas foram conforme o aumento do teor do nanomaterial, apresentando uma tendência de resultados ainda melhores se utilizadas maiores quantidades dele.

Portanto, não foi possível confirmar o teor ótimo encontrado por Sikora et al. (2016) de 3%. Os resultados que obtiveram o maior aumento das propriedades ocorreram com o corpo de prova contendo 5% de nano-Fe₃O₄ em relação ao cimento, diferentemente do autor que, ao chegar nessa porcentagem, obteve uma tendência de queda da resistência à compressão.

Vários fatores podem ser a causa destas divergências. Entre eles, temos a questão da dispersão do nanomaterial que, como já citado, tem grande influência nos resultados encontrados. Entretanto, mesmo com a ausência da dispersão correta, as melhoras obtidas foram significativas e agregam no cenário dos estudos dos nanomateriais.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme exposto anteriormente, a adição de nano-Fe₃O₄ na argamassa garantiu melhorias em suas propriedades, as quais foram crescentes acompanhando o aumento na proporção de nanomaterial adicionado. Considera-se o estudo satisfatório e em linha com os objetivos previamente determinados, apesar da quantidade limitada da Nano Magnetita, pouco tempo disponível para execução dos ensaios e a não possibilidade de refazê-los.

Para pesquisas subsequentes a esse trabalho, recomenda-se a utilização do método ultrassônico para dispersão do nanomaterial, para garantir que a distribuição do aditivo seja mais uniforme. Além disso, sugere-se a realização de outros ensaios, como a resistência à tração que apresenta resultados promissores, a utilização de corpos de prova com dimensões maiores e o aumento do teor de nano-Fe₃O₄, em busca do teor ótimo.

REFERÊNCIAS

- AMER, A.A.; EL-SOKKARY, T.M.; ABDULLAH, N.I. **Thermal durability of OPC pastes admixed with nano iron oxide**. HBRC J. 2015, 11, 299–305.
- ARAÚJO, A. C. V. de. **Síntese de Nanopartículas de Fe₃O₄, nanocompositos de Fe₃O₄ com polímeros e materiais carbonáceos**, 2011. Tese (Doutorado em Química) - Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778: **Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13276: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13279: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13529. **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas**. Rio de Janeiro, 1995.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15630: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultra-sônica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto — Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7212: **Execução de concreto dosado em central — Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7215: **Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9479: **Argamassa e concreto - Câmaras úmidas e tanques para cura de corpos-de-prova**. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.
- BLANEY, Lee. **Magnetite (Fe₃O₄): Properties, Synthesis, and Applications**. 2007. Volume 15 - 2007. 5.
- BOLHASSANI, M.; SAYYAHMANESH, M. **A study on mechanical properties of cement paste using magnetite-silica nano-composites**. Adv. Cem. Res. 2015, 27, 571–580.
- BRAGANÇA, M.O.G.P.; PORTELLA, K.F.; BONATO, M.M.; ALBERTI, E.; MARINO, C.E.B. **Performance of Portland cement concretes with 1% nano-Fe₃O₄ addition**:

Electrochemical stability under chloride and sulfate environments. *Constr. Build. Mater.* 2016, 117, 152–162.

BRANCO, R. M. **Nanopartículas magnéticas obtidas por coprecipitação homogênea sonoquimicamente assistida.** 2013. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, 2013.

ENGELMANN, Wilson; BERGER FILHO, Airton. **As nanotecnologias e o direito ambiental: a mediação entre custos e benefícios na construção de marcos regulatórios.** *Revista de Direito Ambiental*, São Paulo, v.15, n.59 , p. 50-91, 2010.

FLORES-COLEN, Inês; SOARES, Antônio; BRITO, Jorge de. **A Nanotecnologia aplicada às argamassas de revestimento.** *Revista Internacional Techitt*, Lisboa, v. 11, n. 34, p.42-51, out. 2013.

FRANCISQUINI, E.; SCHOENMAKER J.; SOUZA A. S. **Nanopartículas Magnéticas e suas Aplicações.** In: ALVES, Wendel Andrade. *Química Supramolecular e Nanotecnologia*. Santo André: Atheneu, 2014. Cap. 14. p. 269-289.

GOBI, C. M. **Estudo da Influência da Incorporação de Nano-Fe₃O₄ na Reatividade de Agregados em Argamassas e Concretos de Cimento Portland.** 2017. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciência dos Materiais, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

HE, Y.; LU, L.; SU, K.; WANG, F.; HU, S. **Electromagnetic wave absorbing cement-based composite using Nano-Fe₃O₄ magnetic fluid as absorber.** *Cem. Concr. Compos.* 2018, 92, 1–6.

HEIKAL, M. **Characteristics, textural properties and fire resistance of cement pastes containing Fe₂O₃ nano-particles.** *J. Anal. Calorim.* 2016, 126, 1077–1087.

HORSZCZARUK, E. **Properties of Cement-Based Composites Modified with Magnetite Nanoparticles: A Review.** *Materials.* 2019, 122:326. doi: 10.3390/ma12020326.

JAISHANKAR, P.; MOHAN, K.S.R. **Experimental investigation on Nano particles in High Performance Concrete.** *Int. J. ChemTech Res.* 2015, 8, 1666–1670.

LESBAYEV, A.; ELOUADI, B.; BORBOTKO, T.; MANAKOV, S.; SMAGULOVA, G.; BOIPRAV, O.; PRIKHODKO, N. **Influence of Magnetite Nanoparticles on Mechanical and Shielding Properties of Concrete.** *Eurasian Chemico-technological Journal*, [s.l.], v. 19, n. 3, p. 223, 30 set. 2017. Institute of Combustion Problems.

LIN, Ping-chang et al. **Techniques for physicochemical characterization of nanomaterials.** 2014. Washington, 2014.

MANSOURI, I.; NEJAT M.; SHAHBAZI S.; KARAMI A. **Effect of magnetite nanoparticles (ferroferric oxide) on discrete concrete properties.** 2019. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Construction Materials* 172(2): 95–102.

MODESTO, Renato Costa. **Os nanomateriais na indústria da construção**. 2017. Universidade de Lisboa, Lisboa, 2017.

NANOWERK. **Nanojobs: careers in nanotechnology**. 2012.

PACHECO-TORGAL, F.; JALALI, S. **Advantages and drawbacks in the field of construction and building materials.: construction and building materials**. 2011. Universidade de Minho, Guimarães, 2011.

RIBEIRO, M.C.S., 2006. **Betões e argamassas com polímeros**. Disciplina: Construção com Novos Materiais. INEGI - Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial, Porto.

SABBATINI, F. H. **Patologia das argamassas de revestimentos – aspectos físicos**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE TECNOLOGIA DA CONSTRUÇÃO, 3., 1986, São Paulo. Anais... São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1986, p. 69-76.

SCOPEL, Eupídio. **Síntese de nanopartículas de magnetita e incorporação em matriz de acetato de celulose para preparação de nanocompósitos poliméricos**. Monografia de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Espírito Santo. 2016.

SHEKARI, A. H.; RAZZAGHI, M.S. **Influence of nano particles on durability and mechanical properties of high performance concrete**. The Twelfth East Asia-pacific Conference on Structural Engineering and Construction, Teraão, v. 14, n. 1, p. 3036-3041, out. 2011.

SIKORA, P.; CENDROWSKI, K.; HORSZCZARUK, E.; MIJOWSKA, E. **The effects of Fe₃O₄ and Fe₃O₄/SiO₂ nanoparticles on the mechanical properties of cement mortars exposed to elevated temperatures**. Constr. Build. Mater. 2018, 182, 441–450.

SIKORA, P.; HORSZCZARUK, E.; CENDROWSKI, K. et al. **The Influence of Nano-Fe₃O₄ on the Microstructure and Mechanical Properties of Cementitious Composites**. Nanoscale Research Letters 11, 182. 2016.

SILVA, André Carlos; MENDES, Marcos Vinicius Agapito; SILVA, Elenice Maria S., **SUBSTITUIÇÃO DE AREIA POR MAGNETITA NA FORMULAÇÃO DO CONCRETO**, Technol. Metal. Mater. Min., vol.13, n3, p.265-269, 2016.

SILVA, Narciso Gonçalves da. **Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária**. Curitiba, 2006. Universidade Federal do Paraná.

ŠUPOVÁ, M., MARTYNKOVÁ, G.S., BARABASZOVÁ, K., 2011. **Effect of Nanofillers Dispersion in Polymer Matrices: A Review**. Science of Advanced Materials vol. 3, 1-25.

ZOU, H., WU, S., SHEN, J., 2008. **Polymer/Silica Nanocomposites: Preparation, Characterization, Properties, and Applications**. Chemical Reviews vol. 108, 3893-3957.