

**FACULDADE DOCTUM
GIOVANI DE OLIVEIRA COSTA**

**GRAFENO E SUAS APLICAÇÕES NA CONSTRUÇÃO CIVIL
TESTE DE BLOCO DE CONCRETO COM GRAFENO**

Juiz de Fora

2019

GIOVANI DE OLIVEIRA COSTA

GRAFENO E SUAS APLICAÇÕES NA CONSTRUÇÃO CIVIL
TESTE DE BLOCO DE CONCRETO COM GRAFENO

Monografia de Conclusão de Curso, apresentada ao curso de Engenharia Civil, Faculdade Doctum de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador (a): Prof. Flávio da Rocha Azevedo

Juiz de Fora

2019

Ficha Catalográfica elaborada pela Biblioteca Faculdade Doctum/JF

De Oliveira Costa, Giovani.

Grafeno e suas aplicações na construção civil:
teste de bloco de concreto com grafeno / Giovani de Oliveira
Costa, 2019.

55 folhas.

Monografia (Curso de Engenharia Civil) –
Faculdade Doctum Juiz de Fora.

1. Grafeno. 2. Concreto.

I. Grafeno e suas aplicações na construção civil: teste
de bloco de concreto com grafeno. II Faculdade Doctum Juiz de
Fora

GIOVANI DE OLIVEIRA COSTA

GRAFENO E SUAS APLICAÇÕES NA CONSTRUÇÃO CIVIL
TESTE DE BLOCO DE CONCRETO COM GRAFENO

Monografia de Conclusão de Curso, submetida à Faculdade Doctum de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil e aprovada pela seguinte banca examinadora.

Prof. M.Sc. Flávio da Rocha Azevedo
Orientador e Docente da Faculdade Doctum - Unidade Juiz de Fora

Prof. M.Sc. Leandro Mota Peres
Docente da Faculdade Doctum - Unidade Juiz de Fora

Prof. M.Sc. Kleber Gonçalves
Docente da Faculdade Doctum - Unidade Juiz de Fora

Examinada em: ___/___/___.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me proporcionado chegar até aqui. A minha família por toda a dedicação e paciência contribuindo diretamente para que eu pudesse ter um caminho mais fácil e prazeroso durante esses anos.

Agradeço aos professores que sempre estiveram dispostos a ajudar e contribuir para um melhor aprendizado, aos meus amigos pelo apoio e ajuda nas horas mais difíceis. Agradeço também a minha instituição por ter me dado à chance e todas as ferramentas que permitiram chegar hoje ao final desse ciclo de maneira satisfatória.

RESUMO

COSTA, GIOVANI DE OLIVEIRA. **Grafeno e suas aplicações na construção civil: teste de bloco de concreto com grafeno**. 55 f. Monografia de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Faculdade Doctum, Juiz de Fora, 2019.

A partir da crescente demanda verificada no setor de alvenaria industrial, tornou-se necessária a busca por compostos que apresentassem vantagens relacionadas à minimização de custos, qualificação da mão de obra e estímulo do desempenho estrutural. Assim, atendendo a todas essas características, destaca-se o grafeno. Definido como um material constituído de átomos de carbono dispostos em uma estrutura hexagonal, o grafeno, devido a sua elasticidade e por ser um composto forte e leve, permite a produção de materiais altamente resistentes e requer um menor consumo de matéria-prima e energia. Por outro lado, pode-se afirmar que sua empregabilidade ainda não é tão difundida na construção civil quanto o concreto convencional. Neste sentido, visando obter resultados que possam contribuir para a realização de pesquisas e estimular o uso de novas alternativas, o objetivo do estudo foi comparar a resistência à compressão de prismas confeccionados com grafeno e compostos de bloco de concreto. Com a metodologia adotada, inicialmente caracterizada como uma pesquisa descritiva-quantitativa, foram realizados 4 corpos de prova sem aditivo que representam as amostras-base, 4 corpos com 0,001% de aditivo composto por óxido de grafeno em pó e 4 corpos com 0,001% de aditivo composto por óxido de grafeno diluído em água, que foram rompidos após 14 dias. Os resultados revelaram uma melhora de 23,20% na amostra de óxido de grafeno diluído em água e de 41,05% na amostra de óxido de grafeno em pó, o que foi significativo dado a quantidade diminuta de óxido empregado no teste. Assim, é possível concluir que o uso do grafeno é uma alternativa promissora para a engenharia civil. Porém, é importante ressaltar que os métodos de extração do composto ainda precisam ser melhor explorados, uma vez que ainda apresentam um alto custo quando comparado ao concreto convencional, a fim de que este seja melhor difundido na construção civil, para que possam se tornar viáveis à medida que tais métodos sejam melhor elucidados.

Palavras-chave: grafeno, concreto, alvenaria, construção civil.

ABSTRACT

As a result of the growing demand in the industrial masonry sector, it became necessary to search for compounds that show advantages related to cost minimization, labor qualification and structural performance. Thus, in the scope of civil engineering, and given all these characteristics, it is possible to highlight the graphene. Defined as a material consisting of carbon atoms arranged in a hexagonal structure, graphene, owing to its elasticity and as a strong, light and thin compound, allows the production of highly resistant materials and requires a lower consumption of raw material and energy. On the other hand, it can be stated that the employability of graphene is not yet as widespread in civil construction as conventional concrete. In this sense, in order to obtain results that may contribute to the accomplishment of future researches and to stimulate the employment of new alternatives, the aim of the present study was to compare the compressive strength of prisms made with graphene and concrete block compounds. Firstly, the methodology was composed by a descriptive-quantitative research. Then, 4 specimens with 0.001% of additive, composed of graphene oxide powder and 4 bodies with 0.001% of additive composed of graphene oxide diluted in water, were performed, which were ruptured after 14 days. The results revealed a 23.20% improvement in the graphene oxide sample diluted in water and 41.05% in the sample of graphene oxide powder, which was very significant given the small amount of oxide used in the test. Thus, it is possible to conclude that the use of graphene is a very promising alternative for civil engineering. However, it is important to emphasize that the compost extraction methods still need to be better exploited since they still present a high cost when compared to conventional concrete, in order to be better diffused in construction, so that they can become viable as these methods are better elucidated.

Keywords: graphene, concrete, masonry, civil construction.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Os diferentes tipos de blocos e suas dimensões específicas.....	21
Figura 2 - Requisitos físico-mecânicos referentes aos blocos de concreto.....	23
Figura 3 – Características de largura e espessura e respectivas designações da classe D.....	25
Figura 4 - Representação dos diferentes alótropos do carbono.....	28
Figura 5 - A estrutura do grafeno e representação do padrão de ligações do carbono.....	28
Figura 6 - Sistema CVD esquematizado.....	31
Figura 7 - Representação do método de esfoliação representando o grafeno esfoliado micromecanicamente.....	32
Figura 8 - (a) Esquematização da síntese do grafeno pelo processo de decomposição térmica do carbeto de silício, (b) Imagem obtida por Microscopia de Força Atômica ilustrando a síntese de grafeno (c) Monocamadas de grafeno obtidas a partir da metodologia de decomposição em SiC.....	33
Figura 9 - Carbeto de silício em etapa de sublimação e a representação da aderência do carbono na superfície do substrato.....	33
Figura 10 - (a) Modelo de misturados de alto cisalhamento (Silverson L5M); (b) Cabeça de trabalho do modelo; (c) Rotor e estator do equipamento.....	35
Figura 11 - Materiais utilizados na preparação dos corpos de prova.....	38
Figura 12 – Mistura dos materiais.....	39
Figura 13 - Óxido de grafeno em pó sendo adicionado nos corpos de prova...39	39
Figura 14 – Total de 12 corpos de prova preparados.....	40
Figura 15 – Corpos de prova na câmara úmida.....	40
Figura 16 – Representação dos 12 corpos de prova desmoldados.....	41
Figura 17 - Prensa manual da Marca Fortest modelo FT02 utilizada no teste..42	42
Figura 18 - Corpos de prova sem aditivo com ruptura na idade de 14 dias.....	46
Figura 19 - Corpos de prova com 0,001% de aditivo diluído em água com ruptura na idade de 14 dias.....	47
Figura 20 - Corpos de prova com 0,001% de aditivo em pó com ruptura na idade de 14 dias.....	48
Figura 21 - Corpos de prova após ruptura na idade de 14 dias.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados obtidos após ruptura dos corpos de prova.....	44
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CVD	Chemical Vapor Deposition
IUPAC	International Union of Pure and Applied Chemistry
MET	Microscopia Eletrônica de Transmissão
MFA	Microscopia de Força Atômica
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
NMP	N-metil-e-pirrolidona

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVOS.....	13
1.1.1	Objetivos gerais.....	13
1.1.2	Objetivos específicos.....	13
2.	REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
2.1	Blocos de concreto.....	14
2.2	Histórico de uso no Brasil.....	15
2.3	Processos de fabricação do bloco.....	16
2.4	Blocos de concreto com função estrutural.....	19
2.5	Blocos de concreto para vedação.....	24
2.6	As vantagens da tecnologia.....	25
2.7	Grafeno.....	26
2.7.1	Propriedades do grafeno.....	27
2.7.2	Aplicações do grafeno.....	29
2.7.3	Relevância para o Brasil.....	29
2.8	Processos de extração do grafeno.....	30
2.8.1	Esfoliação química em fase líquida.....	30
2.8.2	Método CVD (Chemical Vapor Deposition).....	30
2.8.3	Esfoliação micromecânica.....	31
2.8.4	Método de crescimento do grafeno epitaxial por decomposição de SiC...32	
2.8.5	Esfoliação por cisalhamento.....	34
3	METODOLOGIA.....	36
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
5	CONCLUSÃO.....	50
	REFERÊNCIAS.....	52

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, as pesquisas apontam a aplicação da alvenaria estrutural como uma estratégia para minimizar os custos das obras. Isso ocorre devido à crescente demanda para a síntese de materiais de construção multifuncionais de alta performance. Esses materiais devem exibir alto desempenho para a execução de atividades e durabilidade, e devem ainda incorporar funcionalidades que permitam que sejam aplicados em diferentes âmbitos estruturais.

Em particular, muitos estudos vêm sendo conduzidos para aperfeiçoar a performance e a funcionalidade do concreto, o material de construção mais amplamente difundido mundialmente. Nesse sentido, uma abordagem que vem sendo explorada é a intervenção sobre o concreto a nível de nanoescala, fato este que possibilitaria que suas propriedades físicas e químicas fossem aprimoradas.

De fato, grande parte dos danos causados ao concreto são decorrentes de defeitos químicos ou mecânicos na estrutura cimentícia (SANDES, 2008). Além disso, ressalta-se a necessidade pela busca de compostos que acarretem na redução de custos, e levem ao estímulo do desempenho estrutural e à otimização da mão-de-obra.

Assim, uma alternativa que vem se destacando devido a sua eficiência e vantagens é o grafeno. O grafeno é definido como um nano átomo de carbono com possível aplicação no setor de alvenaria estrutural. Essa tecnologia permite a produção de materiais mais leves e resistentes, e também é capaz de reduzir significativamente o consumo de matéria-prima e energia (CHUAH et al., 2014). Embora existam alguns compostos fabricados a partir dessa tecnologia, o presente estudo focará nos dois produtos que vem sendo amplamente estudados.

Com isso, esse estudo apresentará a resistência mecânica do grafeno adicionado como matéria-prima para fabricação de um prisma de concreto. Além disso, será apresentado também um estudo comparativo considerando a resistência à compressão de prismas de concreto convencional e concreto com grafeno.

Estudos recentes revelam que a aplicação do grafeno no concreto aumenta sua durabilidade e pode reduzir em até 70% da demanda de material a ser utilizada na construção, o que pode vir a representar uma redução de 446 kg por tonelada de emissões de carbono (DIMOV et al., 2018).

Diante desse cenário, e por ser um composto relativamente novo, sobre o qual não há muitas informações técnicas quando aplicado no bloco de concreto, o presente estudo foi realizado com base na importância de elucidar o comportamento e as características do grafeno como constituinte do concreto na construção civil.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é comparar a resistência à compressão de prismas confeccionados com grafeno e compostos de bloco de concreto.

1.1.2 Objetivos específicos

- a) Avaliar os prismas com grafeno através de ensaios mecânicos;
- b) Verificar o modo de ruptura dos prismas quando submetidos a cargas de compressão.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Blocos de concreto

As paredes são constituintes essenciais no ramo da construção, uma vez que definem o formato adquirido pelas edificações. A linguagem técnica denomina paredes como alvenaria. A alvenaria é definida como um sistema construtivo constituído a partir de um conjunto rígido e coeso de tijolos ou blocos, os quais estão unidos entre si, seja na presença, ou não, de argamassa de ligação, e em fiadas horizontais sobrepostas. Dentre as aplicações, a alvenaria é basicamente utilizada como barreira física, na separação de ambientes internos ou externos, na proteção contra intempéries, sendo ela resistente ao teor de umidade, usadas também contra a infiltração provocada por águas pluviais e contra a pressão do vento. Ela também deve proporcionar suporte aos revestimentos em geral, oferecer segurança e assegurar isolamento térmico e acústico (MARINOSKI, 2011).

As alvenarias são classificadas em estrutural ou de vedação, as quais são capazes ou não de suportar os pesos e compressões de determinada edificação. Elas podem ser obtidas a partir de inúmeros materiais, incluindo blocos silicocalcários, tijolos cerâmicos maciços, blocos cerâmicos vazados e blocos de concreto simples, concreto celular e gesso acartonado. No entanto, a escolha do material deverá ser baseada no objetivo da construção, no período de tempo e valor financeiro disponível, e o ambiente no qual ela está inserida, para garantir uma maior vida útil da edificação determinada pelas propriedades de cada material, os quais podem vir a evitar degradação físico-química acelerada da alvenaria (BERTOLINI, 2010).

Os blocos de concreto são basicamente constituídos por concreto, mistura de cimento, além de agregados e água, e podem conter aditivos. A ABNT NBR 6136 também determina que esse bloco deve apresentar área líquida de até 75% da área bruta. Já os agregados podem ser provenientes de diferentes tipos, entre os quais destacam-se a areia e a brita, mas é possível utilizar ainda outros materiais, como argila expandida e cinzas volantes (YAZIGI, 2013; ABNT, 2014).

Os blocos vazados de concreto são divididos em classes, considerando sua função e o local de uso, especificidades determinadas pela NBR 6136/2014, sendo eles:

- Classe A – função estrutural, utilizados em elementos de alvenaria abaixo ou acima do nível do solo;
- Classe B – função estrutural, utilizados em elementos de alvenaria acima do solo;
- Classe C – função estrutural, utilizados em elementos de alvenaria acima do solo;
- Classe D – ausência de função estrutural, utilizados em elementos de alvenaria acima do nível do solo.

2.2 Histórico de uso no Brasil

A década de 40 marcou o início da utilização dos blocos para simples vedação. Na época, os blocos foram empregados na construção de 2400 residências localizadas no conjunto habitacional do Realengo, na cidade do Rio de Janeiro, e também na construção de núcleos habitacionais nas proximidades de hidrelétricas, em que utilizavam resíduos de materiais das construções de barragens como matéria-prima (LORDSLEEM-JUNIOR et al., 2008).

Já os blocos com função estrutural só começaram a se destacar no final da década de 60, momento em que surgiram regulamentos específicos direcionados a normatizar a dimensão e segurança dos elementos estruturais, relacionando a tensão e resistência dos mesmos. O padrão de edificações àquele tempo consistia de edifícios compostos por, no máximo, quatro pavimentos, em que os três primeiros eram construídos a partir de tijolos maciços, e o último era composto por blocos vazados. No entanto, essa técnica construtiva era baseada exclusivamente pela experiência dos profissionais. A primeira construção utilizando blocos de concreto estrutural ocorreu em 1966, no conjunto habitacional Central Park Lapa, localizado em São Paulo, composto por quatro pavimentos. Já em 1972, o mesmo local recebeu outros quatro prédios com 12 pavimentos cada, a partir do mesmo sistema construtivo (MOHAMAD, 2015).

Atualmente, a utilização de blocos de concreto vem crescendo no Brasil, os quais apresentam diversas aplicações e são empregados em vários tipos de construções. Geralmente, as construtoras optam pelo sistema de blocos estruturais devido a redução no volume de resíduos gerados na obra e à

economia, ou seja, além do alto desempenho, tal tecnologia apresenta aspectos positivos em relação a outras (SILVESTRE, 2013).

Blocos com função exclusiva de vedação também vêm sendo mais utilizados, principalmente nas grandes construções, devido a economia proporcionada pelo material. No entanto, os blocos cerâmicos, os quais são mais facilmente encontrados no mercado, ainda são os mais consumidos e representam a primeira opção escolhida pelas pequenas construções (SANTOS, 2011).

O mais baixo consumo de blocos de concreto com função de vedação é representado pelas regiões Norte e Nordeste, que somam 10% do consumo total. Já em regiões como na Grande São Paulo, o consumo pode alcançar 50%, seguido pelo Sul com 40% (SANTOS, 2011). E, como esse consumo tende a crescer, os fabricantes de blocos estão fornecendo produtos de melhor qualidade e acabamento. De fato, já estão disponíveis blocos com superfícies completamente lisas ou mesmo com relevos decorativos, além dos diferentes tipos e tamanhos, que previnem a quebra e perda de blocos inteiros. Tais blocos são utilizados ainda em muros de arrimo e de divisa, devido a sua resistência e caráter rústico.

2.3 Processos de fabricação do bloco

Em meados de 1880, começaram a surgir nos Estados Unidos os primeiros blocos vazados de concreto, seguido pela Inglaterra, quando unidades maciças passaram a se tornar defavadas na construção civil devido ao seu peso. Esse material não era produzido a partir de métodos industriais, mas sim manualmente, a partir de fôrmas de madeira. O ano de 1866 marcou o início do desenvolvimento de técnicas que visavam moldar blocos vazados (BESSER, 2004).

No final do século XIX, foi desenvolvido nos Estados Unidos maquinário para a fabricação de blocos. Assim, a partir da década de 1910, os processos mecânicos surgiram como alternativa à produção manual, aperfeiçoando assim a densidade, uniformidade e resistência dos blocos. Esta época talvez represente o maior avanço na construção de máquinas para fabricação de blocos, com a chegada do primeiro equipamento strip-teaser, o qual permite o

uso de paletes que não necessitam ser perfilados junto às paredes dos moldes. Com ele, o bloco é retirado por baixo do molde de forma automática, assim como acontece com as máquinas modernas (AMÉRICO, 2007).

Também foram fabricadas máquinas semiautomáticas, capazes de gerar até 2000 blocos por dia. Considerando a mesma quantidade de trabalhadores, as máquinas antigas eram capazes de alcançar apenas 200 blocos. Além disso, as dimensões dos componentes passaram a ser unificadas gradualmente, o que proporcionava a coordenação modular verificada atualmente. Nos anos 1940, o processo de fabricação passou a considerar a vibro-prensagem, responsável por melhorar a aparência e a resistência dos blocos. Elas eram capazes de fabricar 5000 blocos diariamente e, a partir de então, melhorias progressivas foram alcançadas em relação a produtividade e qualidade do produto final, embora a tecnologia empregada pelos países europeus ainda os deixem anos à frente do Brasil (OLIVEIRA et al., 2016).

Em relação a sofisticação e organização, as fábricas de blocos no Brasil hoje são diferentes. Pequenas centrais que utilizam uma betoneira e uma vibroprensa, por exemplo, que são operadas de forma manual, convivem com usinas detentoras de equipamentos automatizados de alta produtividade. Embora aqui existam indústrias de blocos de concreto com tecnologia para produção de componentes de qualidade, boa parte do material disponível no mercado é fabricada de forma precária pelas pequenas empresas. Nesse sentido, os blocos de concreto podem apresentar propriedades muito divergentes (SANDES, 2008).

A fabricação contínua de blocos de concreto contribuiu consideravelmente para a redução de custos e melhoria da qualidade do produto. A produção envolve etapas de moldagem de concreto de consistência rija em moldes com dimensões pré-estabelecidas, os quais são compactados e vibrados em máquinas automáticas. Por fim, o material é destinado a cura e armazenado até a entrega (IZQUIERDO, 2011).

A descarga dos agregados exige procedimentos de correta amostragem e avaliação de suas propriedades, como massa específica, massa unitária no estado solto e no estado compacto, dentre outros, além da análise da curva granulométrica. Uma amostra padrão deve ser mantida para fins comparativos com materiais que serão recebidos. A análise das propriedades físicas deve ser

realizada a cada lote recebido ou em casos de alteração do fornecedor. Após esse procedimento, o material é conduzido às baias e armazenado. O cimento requer cautela, já que deve ser armazenado em local seguro e ausente de umidade. Nas etapas de pesagem e mistura, a quantificação da matéria-prima é essencial para garantir a qualidade e as propriedades desejadas dos blocos de concreto. A mensuração dos materiais por volume deve ser evitada devido as variações a qual este procedimento pode estar susceptível (AMÉRICO, 2007).

Essa etapa de fabricação tem como principais fontes de variabilidade os erros durante a determinação da quantidade de água, equívocos provocados pelo inchamento da areia, responsável por induzir alterações no volume, e erros decorrentes de alterações na quantidade de cimento. O traço deve ser determinado conforme especificações para cada tipo de bloco e ajustado de acordo com o valor de umidade dos agregados, que seguem por esteira ou carrinho até o misturador, onde são adicionados cimento, água, aditivo e pigmentos. Determinar as proporções de massas corretas de areia, brita, cimento e água são procedimentos essenciais para a qualidade do produto final (TANGO, 1984).

Em caso de pigmentação do concreto, a mistura ideal dos compostos é representada primeiramente pela pré-mistura a seco do pigmento em conjunto ao agregado, seguido pela mistura complementar após adição de cimento e, para finalizar, mistura a úmido após adição de água. A umidade inerente ao agregado não provoca danos prejudiciais ao produto final. Em geral, uma duração de 10-15 segundos de pré-mistura é suficiente, considerando misturadores planetários ou horizontais (HELENE; GALANTE, 1999).

O elemento central na produção de blocos é representado pela vibroprensagem. Esse maquinário proporciona formato aos blocos de alvenaria através de moldes e pentes, conhecidos também como castelo ou martelo. O molde recebe concreto fresco, no qual ele é vibrado e prensado por meio de extratores, de modo vertical. Após essa etapa, o molde é suspenso enquanto os pentes ficam imóveis, posicionando os blocos sobre as paletes. Por fim, outra paleta é inserida no local, e assim, o ciclo se repete (SOUSA, 2001).

O período de adensamento é determinado de acordo com os critérios referentes às propriedades do bloco após a etapa de desmoldagem. Esse tempo é o mínimo necessário para alcançar o total preenchimento e adensamento do

concreto nos moldes da prensa, sendo esta apropriada ao formato dos blocos após a etapa de desmoldagem, além da resistência dos blocos ao manuseio após a desmoldagem e produtividade das operações a partir dos critérios pré-estabelecidos. Ao fim do ciclo, inicia-se a realização de controle das propriedades físicas. Aqui, as unidades defeituosas devem ser descartadas, e os produtos aprovados seguem por uma esteira até o “finger”, um equipamento automático com plataformas elevatórias de transporte dos paletes até a câmara de cura, seguido pela esteira de paletização (AMÉRICO, 2007).

A fim de alcançar propriedades satisfatórias dos blocos de concreto, a produção deve ser rapidamente seguida pela cura em ambiente saturado, no intuito de prevenir que o material perca água ao longo das primeiras etapas do endurecimento. A fase de cura úmida deve ocorrer em local livre de vento e insolação direta, para evitar etapas de secagem e molhagem. Além disso, o local deve ser controlado quanto a umidade e temperatura. O processo de cura acelerada é empregado pela indústria de blocos de concreto, considerando variações quanto ao layout da fábrica e equipamentos de uso. O procedimento de cura térmica mais comum ocorre através da elevação da temperatura seguida da inserção de vapor em câmara térmica (CASTRO, 2009).

Após moldagem e cura, esses blocos de concreto ficam sobre paletas de madeira ou aço com dimensões que permitam o manuseio e transporte até o fim do processo de fabricação. Durante as fases de transporte e estocagem, os blocos são transferidos, de forma manual ou automática, para um palete de madeira maior, processo este definido como cubagem, no qual máquinas específicas são operadas por uma única pessoa, diferente da forma manual, que exige duas pessoas ou mais (AGOPYAN et al., 2007).

2.4 Blocos de concreto com função estrutural

Os requisitos e parâmetros concernentes aos blocos vazados de concreto do tipo simples, com ou sem função estrutural, são determinados pela norma técnica ABNT NBR 6136. Ela define bloco vazado como um componente de alvenaria, de área líquida $\leq 75\%$ da respectiva área bruta, blocos tipo canaleta como aqueles vazados ou não, de área bruta e área relacionada à seção perpendicular aos eixos dos furos, sem descontar a área líquida e a área dos

espaços vazios, área média da seção perpendicular aos eixos dos furos, com desconto da área dos espaços vazios; dimensões nominais, caracterizadas como dimensões comerciais respectivas aos blocos do módulo M de 10 cm e aos submódulos M/2 e M/4; já as dimensões reais, determinadas ao mensurar cada bloco, correspondem às dimensões nominais reduzidas de 1 cm, o que equivale à espessura média inerente à junta da argamassa. Os blocos modulares são aqueles de dimensões coordenadas para execução de alvenarias modulares; as famílias de blocos compõem um conjunto de componentes de alvenaria, os quais interagem entre si e também com outros elementos construtivos, e são classificadas como blocos inteiros, meio bloco, bloco de amarração L e T, blocos compensadores A e B e do tipo canaleta

Os blocos estruturais de concreto se dividem em diferentes classes, sendo elas:

- Classe A: são utilizados abaixo ou acima do nível de solo
- Classes B e C: utilizados somente em elementos de alvenaria posicionados acima do nível do solo.

Recomenda-se blocos da classe C (M10) em construções de, no máximo, um único pavimento. Já os blocos M12,5 para 2 pavimentos e blocos M15 e M20 na construção de edificações acima disso. Já a classe D não tem função estrutural, e seus requisitos de dimensões específicos podem ser observados na Figura abaixo.

Figura 1 – Os diferentes tipos de blocos e suas dimensões específicas.

Dimensões Reais											
		FAMÍLIAS DE BLOCOS									
Designação	Nominal	20		15		12,5			10		7,5
	Módulo	M - 20		M - 15		M - 12,5			M - 10		M - 7,5
	Amarração	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/3	1/2	1/2	1/3	1/2
	Linha	20 x 40	15 x 40	15 x 30	12,5 x 40	12,5 x 25	12,5 x 37,5	10 x 40	10 x 30	10 x 30	7,5 x 40
Largura (mm)		190	140	140	115	115	115	90	90	90	65
Altura (mm)		190	190	190	190	190	190	190	190	190	190
Comprimento (mm)	Inteiro	390	390	290	390	240	365	390	190	290	390
	Meio	190	190	140	190	115	-	190	90	-	190
	2/3	-	-	-	-	-	240	-	-	190	-
	1/3	-	-	-	-	-	115	-	-	90	-
	Amarração L	-	340	-	-	-	-	-	-	-	-
	Amarração T	-	540	440	-	365	365	-	290	290	-
	Compensador A	90	90	-	90	-	-	90	-	-	90
	Compensador B	40	40	-	40	-	-	40	-	-	40

Fonte: Colevatti (2008).

Os furos dos blocos M15 devem ser ≥ 70 mm e ≥ 110 mm para M20. Blocos da classe A devem possuir mísulas de acomodação, de raio mínimo de 40 mm, e 20 mm para os blocos das classes B e C. Vale ressaltar que os blocos das classes A e B devem possuir 25 mm referentes à paredes longitudinais e o mesmo valor para paredes transversais (bloco M15), e 32 mm x 25 mm (blocos M20). Já o material da classe C (M10, M20, M15 e M12,5) deve ter 18 mm x 18 mm para paredes tanto longitudinais quanto transversais. A espessura da parede deve apresentar diferença máxima de 1 mm para os valores de cada uma das classes (GONÇALVES et al., 2018).

É fundamental que as propriedades físicas e químicas dos blocos atendam as normas da ABNT. Eles devem ser compactos, ter bom acabamento, serem resistentes e apresentar dimensões e formatos adequados, além de assegurar isolamento acústico e térmico (OLIVEIRA et al., 2016).

A resistência à compressão dos blocos varia entre 3-6 MPa, unidade padrão utilizada nas normas técnicas, no qual 1 Mpa equivale a 10kgf/cm². A mensuração desse valor ocorre em um processo de 28 dias de duração através de ensaio padronizado, de critérios pré-estabelecidos, conhecido como ensaio

de resistência à compressão de corpos de prova de concreto. Um corpo de prova é moldado e, com isso, o concreto fresco é inserido em um cilindro metálico de 20 cm de altura e 15 cm de diâmetro. Esse cilindro é então imerso em água e colocado no dinamômetro até o momento do seu rompimento (MENDES, 1998; SALOMÃO et al., 2019).

O não cumprimento dos parâmetros indica que essa parede estará propícia a sofrer rachaduras ou outros problemas. Fisicamente, um dos fatores que requerem cuidado corresponde às dimensões do bloco. Também é importante observar a espessura das paredes para que não comprometa a resistência do bloco. Os blocos têm peso médio respectivo de 10,7 kg, 13,6 kg e 17,3 kg para materiais de 9 cm × 19cm × 39cm, 14cm × 19cm × 39cm e 19cm × 19cm × 39cm (ABNT, 2014).

A NBR 6136 determina ainda o índice de absorção de água. Tal indicador deve ser $\leq 10\%$, sendo empregado como indicador de durabilidade. A resistência do bloco está diretamente relacionada à sua compactidade e ao índice de absorção. Um material de resistência 4,5 Mpa é restrito de ser utilizado em paredes com revestimento ou que não estejam expostas a alterações climáticas expressivas. Outro parâmetro importante é a capacidade de sucção do bloco, responsável por definir o potencial de aderência do bloco a uma argamassa de retenção apropriada (ABNT, 2014).

A absorção deve facilitar a penetração dos aglomerantes exigidos antes do endurecimento e deve também ser mantida em equilíbrio, a fim de que as reações químicas não sejam comprometidas com excesso de absorção. É comum o aparecimento de problemas na aderência da argamassa em paredes que não apresentam impermeabilidade, pois a água inerente à composição do material é absorvida e resulta em uma massa seca, sem poder de fixação (TAGUCHI, 2010).

Calcula-se a absorção total pela relação entre a massa total da água que foi absorvida pelo bloco (m_2) e a massa seca (m_1) (FARIA, 2015):

$$\frac{(m_2 - m_1)}{m_1} \times 100$$

A retração linear de secagem (S%) é definida pela relação entre as médias das variações do comprimento e a média dos comprimentos das bases de mensuradas a partir dos corpos de prova (FARIA, 2015):

$$S = \frac{L}{G}$$

Em que L representa a variação média da dimensão do corpo de prova, condição saturada e ponto de constância de massa ou comprimento; e G é o comprimento médio das bases desse corpo de prova, conforme demonstrado na Figura 2 (FARIA, 2015).

Figura 2 - Requisitos físico-mecânicos referentes aos blocos de concreto

Classe	Resistência Característica	Absorção média em %		Retração
		Agregado normal	Agregado leve	
A	≥ 6,0	≤ 10,0%	≤ 13,0%	≤ 0,065%
B	≥ 4,0		(Média)	
C	≥ 3,0		≤ 16,0%	

Fonte: Faria (2015).

De forma geral, os blocos devem apresentar textura superficial limpa. Isso significa que eles devem ser ausentes de trincas e fraturas as quais podem comprometer seu desempenho. Além disso, eles devem exibir compacidade e homogeneidade, e serem dotados de arestas vivas. Blocos de superfície porosa e rugosa são recomendados caso a alvenaria tenha revestimento, uma vez que proporcionam melhor aderência à argamassa. Mas, em outros casos, são indicados os blocos mais lisos e de bom acabamento. A alvenaria com bloco de concreto deve atender às exigências relacionadas à estabilidade mecânica, leveza, durabilidade considerando os níveis pluviais, isolamento acústico e térmico, resistência ao fogo e padrão de regularidade das dimensões do material (NASCIMENTO, 2016).

O formato dos grãos, natureza e proporção dos finos plastificantes, o índice de granulometria da areia, a composição de minerais e a proporção entre água e aglomerantes são fatores que influenciam os blocos de concreto. É essencial que a qualidade dos agregados estejam em conformidade com os requisitos físico-químicos dos blocos. A norma ABNT NBR 7211 determina o padrão dos agregados graúdos e miúdos. À mistura de cimento, também podem ser acrescentados aditivos químicos, sendo os plastificantes os mais comumente empregados, e regidos pela NBR 11768. A resistência à compressão é definida pela medida de compressão do graute em conjunto às propriedades mecânicas da argamassa e dos blocos (FARIA, 2015).

2.5 Blocos de concreto para vedação

Blocos destinados a vedação são altamente aplicados em muros e paredes e empregados na construção de alvenaria comum, além de representarem uma alternativa para o fechamento de vãos em prédios estruturados. A utilização desses blocos proporciona diminuição da mão-de-obra, redução do desperdício, pois possibilita certo nível de modulação, inclusive na fase de projeto, e menor custo dispendido com revestimento (SILVA, 2013).

A norma técnica NBR 6136 especifica que os blocos de vedação estão na classe D, com as designações exibidas abaixo (Figura 3). Estão disponíveis as variantes M7,5, M10, M15 e M20. Esses blocos podem ainda ser classificados em famílias de 29 cm ou 39 cm de comprimento, sendo que a primeira é subdividida nos seguintes tipos:

1. 9cm x 19cm x 29cm e peso médio de 6,9 kg;
- 2: 14cm x 19cm x 29cm e peso médio de 8,4 kg;
- 3: 9cm x 19cm x 14cm e peso médio de 3,3 kg
- 4: Meio bloco de 14cm x 19cm cm x 14cm cm peso médio de 3,5 kg.

Enquanto isso, 6 blocos compõem a família 39:

- 1: 9cm × 19cm × 39cm, peso médio de 7,7kg;
- 2: 14cm × 19cm × 39cm, peso médio de 9,3 kg;
- 3: 19cm × 19cm × 39cm, peso médio de 10,5 kg;

- 4: meio bloco de 9cm × 19cm × 19cm, peso médio de 3,6 kg;
 5: meio bloco de 14cm × 19cm × 19cm, peso médio de 5,4 kg;
 6: meio bloco de 19cm × 19cm × 19cm, peso médio de 7,8 kg.

Figura 3 – Características de largura e espessura e respectivas designações da classe D.

Classe	Designação	Paredes longitudinais ¹ mm	Paredes transversais	
			Paredes ¹ mm	Espessuras equivalentes ² mm/m
D	M-7,5	15	15	113
	M-10	15	15	113
	M-12,5	15	15	113
	M-15	15	15	113
	M-20	15	15	113

1) Média das medidas das paredes tomadas no ponto mais estreito.
 2) Soma das espessuras de todas as paredes transversais aos blocos (em milímetros), dividida pelo comprimento nominal do bloco (em metros).
 Os blocos vazados de concreto prescritos pela Norma devem atender aos limites de resistência, absorção e retração linear por secagem estabelecidos na tabela 3.

Fonte: ABNT (2014).

Os blocos de concreto para vedação também devem cumprir limites de absorção e retração linear de secagem, as quais são propriedades que devem ser verificadas em ensaios a fim de garantir segurança à edificação, já que elas permitem a checagem da capacidade de carga que esses blocos suportam ao serem submetidos a forças perpendiculares sobre sua face, além de determinarem se as amostras obtidas fornecem resistência mecânica desejada (ABNT, 2014).

2.6 As vantagens da tecnologia

O cenário atual de estímulo à construção civil reflete uma crescente busca pela redução de gastos, fazendo com que as construtoras analisem métodos de controle tecnológico e procurem inovações que possam culminar na implantação de outros sistemas construtivos e resultar em menor custo e maior qualidade dos serviços. Os blocos de concreto vem sendo cada vez mais utilizados por atenderem este requisito, e são empregados em obras industriais pela tipologia específica desses projetos, a qual apresenta paredes grandes e aparentes, ou

apenas com uma pintura simples, sem necessidade de gastos com revestimento, e também devido a maior resistência desses blocos (SANTOS, 2011).

O sistema construtivo que emprega blocos de simples vedação e alvenaria estrutural também são estimulados, e os materiais aqui utilizados devem seguir suas normas para que atendam requisitos como tamanho, peso, resistência mecânica e absorção de umidade. Esse sistema também deve explorar a capacitação de profissionais de forma constante (SANTOS 2011).

A utilização da alvenaria industrial alcançou um patamar competitivo no Brasil em relação ao aço e ao concreto armado, e vem crescendo devido ao bom custo-benefício, sendo este responsável por gerar grande economia alcançada pela otimização de tarefas na obra, redução de desperdício de materiais devido a simplicidade das técnicas e maior controle entre as etapas (MOHAMAD, 2015).

Mas a alvenaria industrial apresenta ainda algumas desvantagens, como por exemplo a dificuldade na remoção de paredes, fato este que limita a flexibilidade da obra e a realização de reformas. No entanto, isso pode ser solucionado pelo projetista estrutural e o arquiteto, que podem sugerir paredes específicas sem função estrutural que possam serem retiradas e permitam reformas. Cuidados específicos devem ser dispensados nessa etapa de projeto, considerando restrições quanto a quantidade de pavimentos, concepção arquitetônica e projetos auxiliares (MOHAMAD, 2015).

Já a desvantagem concernente à alvenaria para vedação está ligada a necessidade de mão-de-obra qualificada, uma vez que os blocos precisam de um maior controle no prumo e alinhamento, o que acarreta em uma redução na produtividade do trabalhador. No entanto, esse ponto negativo se torna mínimo quando comparado às suas vantagens, como melhor qualidade na alvenaria, nivelamento e padronização com menor desvio, além de ser uma obra sem geração de excesso de entulhos (FREIRE, 2007).

2.7 Grafeno

O grafeno é um material bidimensional composto por uma camada única composta por átomos de carbono que estão compactados e arranjados em uma estrutura cristalina de formato hexagonal, semelhante a um favo de mel. O

grafeno pode resultar em uma esfera conhecida como fulereno ou em nanotubos, e o empilhamento de suas folhas é responsável por originar o grafite (FEI, 2018).

O termo foi primeiramente citado em 1987, mas o conceito já era conhecido desde 1947, embora existisse apenas em teoria, uma vez que, até então, não se sabia que uma estrutura bidimensional também poderia existir em sua forma física. O grafeno foi oficialmente definido em 1994 pela International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), que o considera como uma camada única da estrutura grafítica.

Em 2004, pesquisadores do Centro de Nanotecnologia da Universidade de Manchester, coordenado pelos cientistas André Geim e Konstantin Novoselov foram capazes de isolar, a partir do grafite, pequenos fragmentos de grafeno (NOVOSELOV et al., 2004). Já em 2010, após a inserção do conceito do grafeno à ciência, os cientistas ganharam o Prêmio Nobel de Física.

2.7.1 Propriedades do grafeno

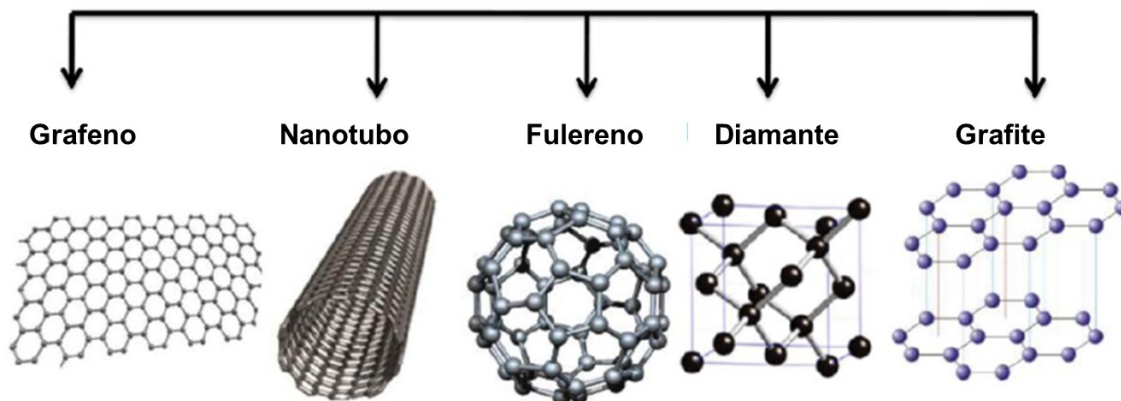
O grafeno surge como uma potencial alternativa ao silício e ao diamante, devido a suas excelentes propriedades eletrônicas, mecânicas e térmicas, além de sua alta condutividade. No entanto, embora possa ser sintetizado a partir de diferentes métodos, a produtividade e o alto custo de sua síntese ainda precisam ser otimizados. Além disso, os métodos de caracterização modernos requerem a transferência de grafeno a um substrato a ele específico, reduzindo a eficiência da caracterização. Assim, a ciência busca o desenvolvimento de novos métodos de identificação rápida e eficaz para sobrepor as limitações inerentes a produção do composto (NOVOSELOV et al., 2012).

É inegável que tais propriedades propiciam inúmeras possibilidades em aplicações científicas e industriais. Atualmente, as etapas de caracterização e posicionamento de inúmeros grafenos parece ser um desafio, mas a nanotecnologia e a nanoengenharia vêm desenvolvendo métodos de síntese, separação e posicionamento dessas estruturas, viabilizando os avanços que podem vir a ser implementados (ORCUTT, 2013).

A representação esquemática estrutural dos alótropos do carbono está ilustrada na Figura 4. Além da estrutura bidimensional do grafeno, é possível observar a disposição em formato cilíndrico dos nanotubos, o fulereno em

formato esférico, além do diamante e do grafite, cuja estrutura é formada por diversas estruturas bidimensionais das folhas de grafeno (TIWARI et al., 2016).

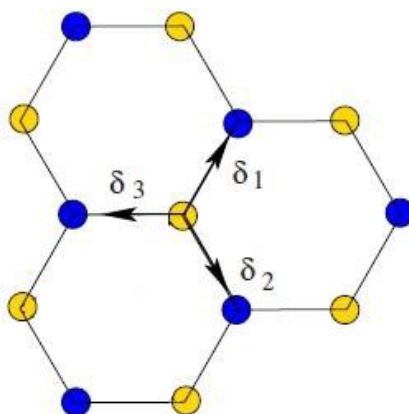
Figura 4 - Representação dos diferentes alótropos do carbono.



Fonte: TIWARI et al., 2016.

Na estrutura do grafeno, os átomos de carbono apresentam hibridização sp^2 com orbitais p_x e p_y e formação de ligações σ com os carbonos vizinhos. Já o orbital p_z não-hibridizado se sobrepõe a outros e forma bandas de valência e de condução (Figura 5). Essas ligações favorecem a formação de uma estrutura bidimensional hexagonal (GONÇALVES, 2013).

Figura 5 - A estrutura do grafeno e representação do padrão de ligações do carbono.



Fonte: GONÇALVES, 2013.

2.7.2 Aplicações do grafeno

A grande versatilidade da estrutura do grafeno o torna como um dos compostos mais explorados atualmente. Suas propriedades óticas, mecânicas e eletrônicas fazem com que ele seja visto como uma estratégia viável ao desenvolvimento da nanotecnologia. Ele apresenta, por exemplo, capacidade de resistência a tração 200 vezes superior em comparação ao aço, além de ser leve, transparente e flexível. A mais recente descoberta revelou que o grafeno pode atuar como detector de plásmons, o que permitiria sua aplicação em estudos sobre física e engenharia e no âmbito medicinal, farmacológico e biotecnológico, atuando como marcador molecular e como detector de proteínas e anticorpos, por exemplo (FEI et al., 2018).

O grafeno é responsável por conduzir calor e eletricidade, e pode ser aplicado na síntese de biossensores, na tela de televisores ou smartphones, e no aperfeiçoamento do touch screen. Em relação as membranas filtrantes, o óxido de grafeno é capaz de filtrar a água de solventes orgânicos e inclusive consegue separar a água de uma mistura de gases (QIU et al., 2015; LAVOR, 2016).

Uma pesquisa conduzida na Inglaterra revelou que o grafeno, quando combinado a tinta, atua como agente impermeabilizante, o que favoreceria sua aplicação na área de revestimentos e compósitos, e ainda evitaria reações de oxidação sobre o local revestido (ALENCAR; SANTANA, 2018).

A exploração de novos métodos de síntese do composto favorecida pelo avanço da nanotecnologia se estende até a eletrônica, em que a estrutura poderia ser utilizada para gerar baterias mais leves, com menor tempo de carregamento e maior duração (NOVOSELOV et al., 2012).

2.7.3 Relevância para o Brasil

As propriedades do grafeno e seu potencial tecnológico permitem sua utilização em diversos setores industriais, principalmente por ser um excelente material condutor e ótimo composto filtrante para o ramo da química. No entanto, o custo atual da produção de 150 g de grafeno gira em torno de 15.000 dólares, enquanto 1 kg de grafite natural custa basicamente 1 dólar. Mesmo assim, a

indústria espera que, em 10 anos, a comercialização do grafeno movimentará aproximadamente um trilhão de dólares (MATOS, 2017).

Com essa perspectiva, o Brasil investiu recentemente em um centro de pesquisa para síntese de grafeno, chamado Mackgraph, localizado na Universidade Mackenzie, cujo orçamento foi avaliado em R\$ 100 milhões. Apesar do investimento ainda não expressivo, o país parece estar determinado em progredir nessa área, fato justificado pela abundância de reservas naturais de grafite natural, que alcançam quase 45% em escala mundial, colocando o Brasil em vantagem na cadeia produtiva do grafeno (VILLELA, 2016).

2.8 Processos de extração do grafeno

O grafeno pode ser obtido através de diferentes processos, cada qual com suas características de acordo com suas propriedades. Alguns desafios e dificuldades ainda precisam ser superados para atender as exigências do mercado, e para que o custo-benefício de sua síntese possibilite sua síntese em larga escala. As principais metodologias de obtenção do grafeno estão descritas a seguir (LAVOR, 2016).

2.8.1 Esfoliação química em fase líquida

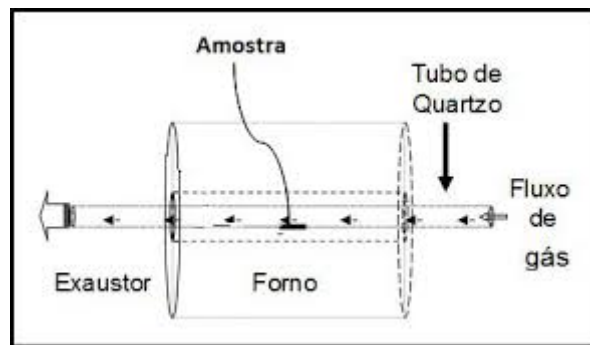
Esse método consiste em reduzir e quebrar as interações de stacking π - π (interações intermoleculares do tipo empilhamento) que estão localizadas entre as camadas do grafeno (QUINTANA; TAPIA; PRATO, 2014). A fim de diminuir tais interações, reagentes específicos, como ácido nítrico, cloreto de potássio e ácido sulfúrico, são utilizados entre as camadas, e seu consumo é interrompido devido a produção de gases sob alta pressão, o que leva a degradação de sp^2 para sp^2 - sp^3 . A versatilidade do método deve-se à utilização de reagentes químicos de fácil obtenção, o que poderia facilitar a síntese de grafeno em grande escala (SOLDANO; MAHMOOD; DUJARDIN, 2010).

2.8.2 Método CVD (*Chemical Vapor Deposition*)

A obtenção do grafeno ocorre por meio da deposição química durante a fase de vapor em substratos de cobre. A pouca afinidade desse metal pelo carbono leva a formação de ligações fracas na superfície. Além da configuração eletrônica estável, esse processo proporciona condições de crescimento do

grafeno em sua superfície. Ele ocorre após a aplicação de um tratamento térmico sobre o cobre, no qual se utiliza hidrogênio e gás argônio, o que aumenta os grãos de cobre e concede uma superfície mais homogênea. Feito isso, um gás carbonáceo, como metano, acetileno ou benzeno, é colocado no forno CVD. Esse gás é degradado sob baixa pressão e alta temperatura, aderindo ao substrato. Finalizada a etapa de crescimento da folha de grafeno, o forno é resfriado e o composto de lá retirado (BARCELOS, 2010).

Figura 6 - Sistema CVD esquematizado.



Fonte: BARCELOS, 2010.

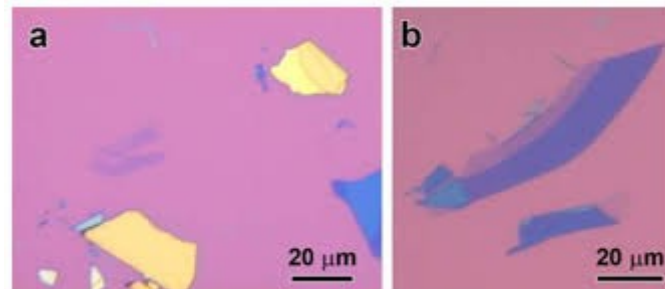
O processo de obtenção pelo CVD é viável em larga escala, pois o custo da amostra é baixo quando comparado às outras alternativas. O ponto negativo é baseado pelo tamanho da folha de grafeno, que se limita de acordo com o tamanho da superfície de amostra do metal. Sua outra desvantagem está no transporte elétrico. Além disso, os pontos de nucleação do grafeno não têm orientação única por causa da baixa interação do grafeno ao substrato, o que culmina em um espalhamento de elétrons e acarreta em um transporte elétrico de menor qualidade (GONÇALVES, 2012).

2.8.3 Esfoliação micromecânica

Consiste em aplicar uma fita adesiva a um grafite pirolítico altamente orientado, retirá-la e colocá-la levemente sobre um substrato de óxido de silício (SiO_2). Com isso, a folha de grafeno irá aderir ao substrato por sua afinidade maior do que ao próprio grafeno. É o método mais simples e a detecção pode ser vista por meio de microscópio ótico, devido ao contraste entre a folha de grafeno e o substrato.

A Figura 7a representa o grafite e a Figura 7b a estrutura de um grafeno de poucas camadas com um de monocamada. Os tons amarelados indicam estruturas mais grossas, e os tons azulados e claros as camadas mais finas.

Figura 7 - Representação do método de esfoliação representando o grafeno esfoliado micromecanicamente.



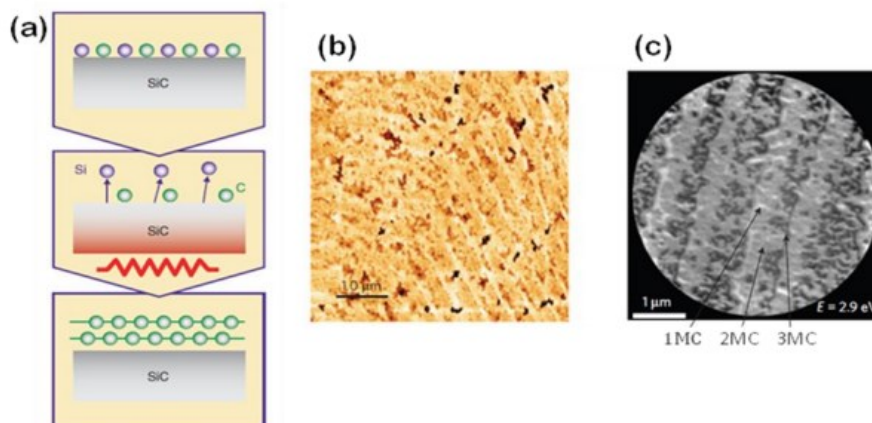
Fonte: SÁ, 2011.

Uma câmara aquecida contendo hidrogênio e gás argônio é geralmente utilizada para eliminar a cola de adesivo do grafeno. Esse método não alcança uma larga escala industrial, mas é interessante na pesquisa de síntese de grafeno em escala laboratorial (SÁ, 2011).

2.8.4 Método de crescimento do grafeno epitaxial por decomposição de SiC

Diversos processos de obtenção do grafeno na superfície do carvão de silício (SiC) estão disponíveis. O método de extração do grafeno ocorre pela submissão de cristais de carvão de silício (SiC) a temperaturas em torno de 1300 °C. A esta temperatura, os cristais de SiC desmoram e os átomos de carbono são rearranjados em organização gráfica.

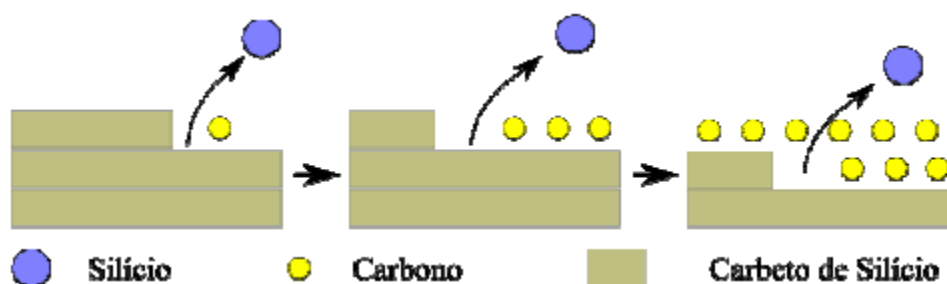
Figura 8 - (a) Esquemática da síntese do grafeno pelo processo de decomposição térmica do carbeto de silício, (b) Imagem obtida por Microscopia de Força Atômica ilustrando a síntese de grafeno (c) Monocamadas de grafeno obtidas a partir da metodologia de decomposição em SiC.



Fonte: CASTRO, 2011.

O método que apresenta os resultados mais satisfatórios ocorre pelo crescimento e produção de grafeno em pressão atmosférica. Nele, a amostra de SiC é colocada em um forno sob pressão atmosférica em ambiente contendo gás argônio. O forno é aquecido até temperaturas entre 1500°C-2000°C, o que provoca a sublimação do silício do substrato (Figura 9). Então, o carbono fica depositado sobre o SiC, onde ele se reorganiza e forma as monocamadas de grafeno. Embora apresente aspectos positivos quanto a qualidade e síntese do grafeno, o custo permanece como um desafio (GONÇALVES, 2012).

Figura 9 - Carbeto de silício em etapa de sublimação e a representação da aderência do carbono na superfície do substrato.



Fonte: GONÇALVES, 2012.

2.8.5 Esfoliação por cisalhamento

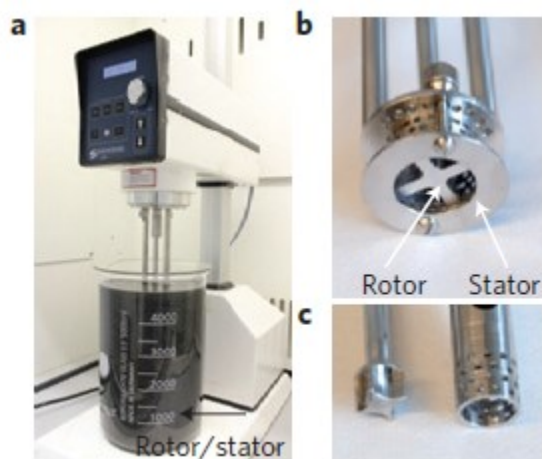
Esta metodologia considera a utilização de um misturador de alto cisalhamento do tipo rotor/estator, o qual pode ser encontrado em uma variedade de diâmetros de rotor (Figura 10). O protocolo consiste na adição de uma concentração inicial de 50 mg/mL de grafite em soluções aquosas de surfactante (colato de sódio – NaC) e solvente N-metil-e-pirrolidona (NMP) (PATON et al., 2014). Os parâmetros de agitação controlados em laboratório são os seguintes:

- Tempo de mistura = 20 min
- Volume líquido (água) = 4,5 L
- Velocidade do rotor = 500 – 7000 rpm
- Temperatura ambiente

Após a agitação, as dispersões resultantes são centrifugadas para a remoção de grafites não esfoliados e o sobrenadante, o qual apresenta as partículas de grafeno de alta qualidade, incluindo algumas monocamadas, é coletado e mensurado (SIMON, 2016).

Para testar o efeito dos parâmetros de mistura na qualidade do cisalhamento sobre essas dispersões, são realizadas análises por microscopia eletrônica de transmissão (MET) e microscopia de força atômica (MFA), que permitem a mensuração do tamanho do floco, sua espessura e a avaliação da presença das monocamadas (PATON et al., 2014).

Figura 10 - (a) Modelo de misturados de alto cisalhamento (Silverson L5M); (b) Cabeça de trabalho do modelo; (c) Rotor e estator do equipamento.



Fonte: PATON et al., 2014.

De forma alternativa, a sonicação do grafite em solventes estabilizadores e soluções aquosas de tensoativos também podem produzir nanofolhas de grafeno livres de defeitos, mas a escalabilidade desse método é limitada. Nesse sentido, o método de esfoliação proporciona aumento de escala e alcança a produção de altas quantidades de grafeno, e possivelmente se tornará uma tecnologia relevante no futuro próximo, a qual apresenta alta empregabilidade na nanotecnologia, como em nanosensores e células fotovoltaicas (PATON et al. 2014).

3 METODOLOGIA

Inicialmente, foi tomado como ponto de partida para a metodologia a realização de uma pesquisa descritiva-quantitativa. Dessa forma, o presente trabalho foi primeiramente conduzido a partir de um levantamento bibliográfico, buscando referências científicas publicadas na literatura sobre bloco de concreto, elucidando sua definição, características e propriedades, além das diferentes aplicações. Posteriormente, foi feito um levantamento bibliográfico sobre o grafeno, sua importância e potencial tecnológico, e os diferentes métodos de obtenção do material. A presente pesquisa, portanto, considerou três diferentes abordagens:

- Revisão de literatura sobre grafeno e bloco de concreto.
- Pesquisa laboratorial: análise sob controle de um fenômeno a ser estudado após refazer suas condições.
- Pesquisa quantitativa: avaliação e interpretação dos resultados obtidos por meio de análise quantitativa.

A etapa posterior da metodologia tomou como base a utilização de 12 corpos de prova divididos em três grupos para avaliação dos dados resultantes dos ensaios relacionados a resistência à compressão, definido pela NBR 5739:2018.

Dessa forma, os materiais foram reunidos para realização dos ensaios no laboratório do Centro de Engenharias da Rede Doctum de Ensino, localizado na cidade de Juiz de Fora, Minas Gerais – Brasil. Os procedimentos foram conduzidos em conjunto ao orientador e ao técnico responsável pelo laboratório.

Assim, os materiais e equipamentos utilizados na presente metodologia estão descritos abaixo:

- 1 kg de Cimento Portland CPIII - 40 RS alto forno (com resistência de 21 a 45 Mpa).
- 3 kg de Agregado graúdo Brita Zero.
- 2 kg de Agregado miúdo Areia Industrializada.
- 1 g de Óxido de Grafeno em Pó.
- 1 g de Óxido de Grafeno diluído em 360 ml de água.

- Água adicionada ao traço até garantir a obtenção de uma mistura homogênea e pastosa.

Equipamentos:

- Balança
- Bandeja circular
- Bandeja retangular
- Colher de pedreiro
- Câmara de cura automática
- Estilete
- Espátula
- Moldes de corpos de prova de pvc com 10 cm de altura e 5 cm de diâmetro
- Máquina de ensaio de resistência (prensa)
- Proveta graduada
- Paquímetro
- Recipiente cilíndrico de vidro

Figura 11 - Materiais utilizados na preparação dos corpos de prova



Fonte: O autor (2019)

A seguir os componentes, cimento, areia, brita e água foram colocados em uma bandeja circular e misturados com uma colher de pedreiro, utilizando um traço 1:2:3, o qual consiste em três partes de brita e duas partes de areia para uma parte de cimento.

Um fator importante em relação ao traço do bloco de concreto está na capacidade do equipamento utilizado para compactar o bloco, uma vez que, quanto maior for a capacidade de compactação do equipamento, maior será o traço. Como não foi utilizado nenhum equipamento para compactar o concreto no corpo de prova, foi adotado um traço menor.

Figura 12 – Mistura dos materiais



Fonte: O autor (2019)

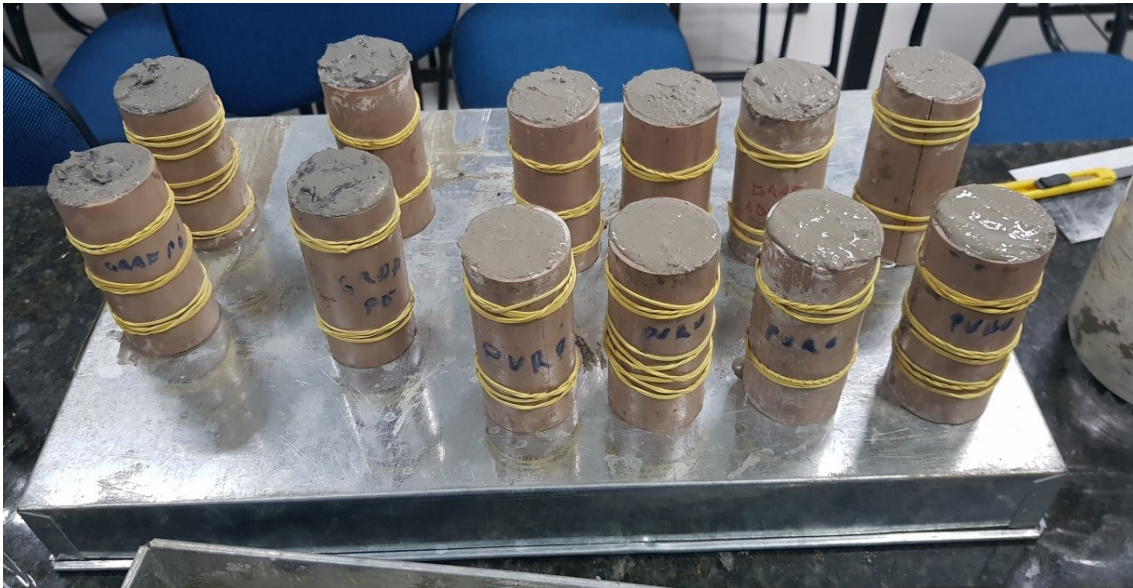
Em seguida, foram preparados os 12 moldes com 10 cm de altura e 5 cm de diâmetro, os quais foram submetidos à câmara úmida até a data de desmoldagem para o período de cura. No primeiro momento, foram realizados 4 corpos de prova sem aditivo para servirem como amostras base, 4 corpos com 0,001% de aditivo (óxido de grafeno em pó) em relação ao cimento e 4 corpos com 0,001% de aditivo (óxido de grafeno diluído em água), os quais foram rompidos após uma idade de 14 dias (aditivos acrescentados no mesmo traço de concreto dos corpos de prova sem aditivo).

Figura 13 - Óxido de grafeno em pó sendo adicionado nos corpos de prova



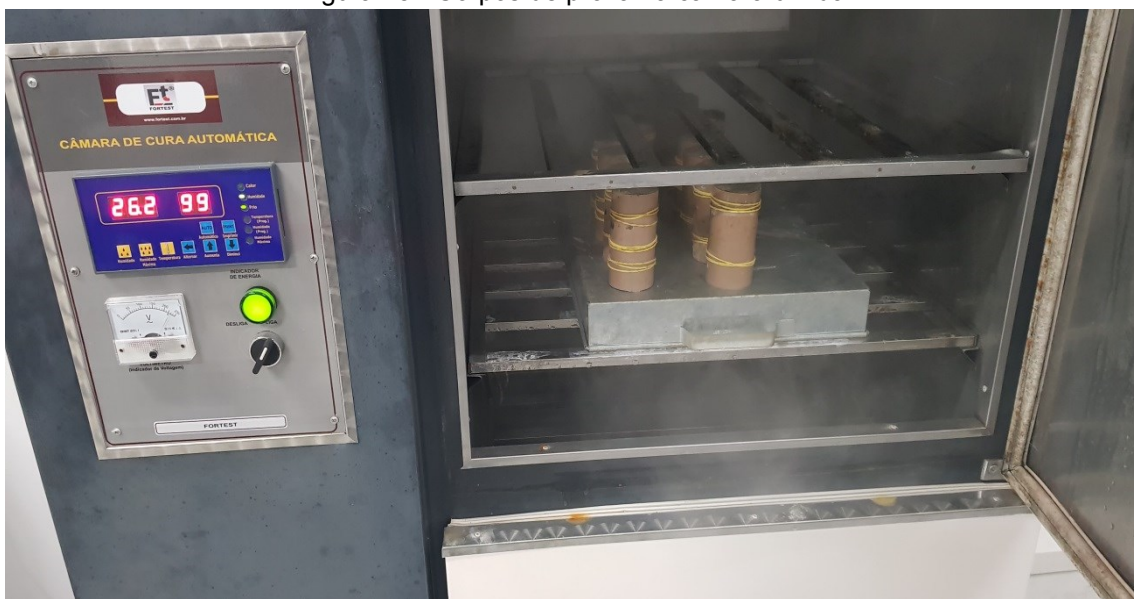
Fonte: O autor (2019)

Figura 14 – Total de 12 corpos de prova preparados



Fonte: O autor (2019)

Figura 15 - Corpos de prova na câmara úmida



Fonte: O autor (2019)

Figura 16 – Representação dos 12 corpos de prova desmoldados



Fonte: O autor (2019)

Após o tempo de cura, o próximo passo consistia em iniciar os testes no concreto com base nos regulamentos técnicos ABNT NBR 5739, ABNT NBR NM67 e demais normas entrelaçadas ao processo, utilizando o CP-III 40 RS (Cimento Portland com resistência de 21 a 45 MPa) e um traço de 1:2:3:0,001:x (cimento:areia:brita:água:óxido).

Figura 17 - Prensa manual da Marca Fortest modelo FT02 utilizada no teste



Fonte: O autor (2019)

Decorridos 14 dias de cura em câmara úmida, os corpos de prova foram levados para a prensa para ruptura e análise dos resultados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos através dos ensaios com os corpos de prova em suas devidas condições são revelados na Tabela 1.

Tabela 1 - Dados obtidos após ruptura dos corpos de prova.

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO 14 DIAS				
MOLDAGEM: 23/04/2019				
DESMOLDAGEM: 25/04/2019				
RUPTURA: 07/05/2019				
Traço: 1:2:3:0,001 x (cimento:areia:brita:água:aditivo em relação a quantidade de cimento).				
Corpo de prova	Diâmetro (mm)	Carga (kgf)	Resistência (Mpa)	Diferença resistência (%)
0 A	49,52	860	43,80	-
0 B	49,36	880	44,82	-
0 C	49,25	820	41,80	-
0 D	49,16	970	49,40	-
0,001% A (em água)	49,05	1230	62,64	39,34 %
0,001% B (em água)	49,02	930	47,36	5,37%
0,001% C (em água)	49,08	1240	63,15	40,48%
0,001% D (em água)	49,11	950	48,38	7,62%
0,001% A (em pó)	49,86	1190	60,61	34,83%
0,001% B (em pó)	49,78	1160	59,08	31,43%
0,001% C (em pó)	49,89	1240	63,15	40,48%
0,001% D (em pó)	49,92	1390	70,79	57,47%

A diferença foi baseada na média das resistências dos cps sem aditivo (44,955 Mpa)

Fonte: O autor (2019)

Analisando os resultados, pode-se afirmar que foram obtidos valores bastante coerentes com cada classe de amostra, após detectada uma melhora

de 23,20% em média na amostra de óxido de grafeno diluído em água, e uma melhora de 41,05% em média na amostra de óxido de grafeno em pó adicionado ao corpo de prova, um resultado significativo e relevante em relação a pouca quantidade de óxido utilizada no teste.

No caso das amostras sem aditivo, os resultados foram bem similares e de acordo com o traço, tempo de cura controlada em câmara automática e o tipo de cimento utilizado.

Em comparação ao estudo previamente conduzido por Babak e colaboradores, foi constatado que os valores encontrados no presente trabalho são superiores ao padrão desvendado pelos pesquisadores. Ou seja, utilizando 1,5% de óxido, foi atingido um índice de 48% de melhora, proporcionalmente, sendo que foi empregada uma quantidade significativamente menor de óxido como mostrado na Tabela acima (BABAK et al., 2014).

Já em relação à pesquisa de Pan e seus colaboradores, os valores obtidos neste caso também estão acima do padrão encontrado na literatura científica, já que os experimentos constataram uma melhora de 15 a 33% utilizando 0,05%, o que é cinco vezes maior se comparado ao valor empregado no teste acima. Analisando o melhor cenário com aditivo em pó, foi obtido um valor de 57,47% de melhora com uma quantidade de óxido de grafeno cinco vezes menor (PAN et al., 2015).

As Figuras abaixo ilustram as etapas de ruptura dos corpos de prova, as quais foram classificadas de acordo com as orientações da ABNT NBR 5739 (2018).

Figura 18 - Corpos de prova sem aditivo com ruptura na idade de 14 dias

Exemplar 0A (Ruptura tipo C)



Exemplar 0B (Ruptura tipo D)



Exemplar 0C (Ruptura tipo B)



Exemplar 0D (Ruptura tipo C)



Fonte: O autor (2019)

Figura 19 - Corpos de prova com 0,001% de aditivo diluído em água com ruptura na idade de 14 dias

Exemplar 0,001% A (Ruptura tipo D)



Exemplar 0,001% B (Ruptura tipo D)



Exemplar 0,001% C (Ruptura tipo D)



Exemplar 0,001% D (Ruptura tipo D)



Fonte: O autor (2019)

Figura 20 - Corpos de prova com 0,001% de aditivo em pó com ruptura na idade de 14 dias

Exemplar 0,001% A (Ruptura tipo D)



Exemplar 0,001% B (Ruptura tipo D)



Exemplar 0,001% C (Ruptura tipo C)



Exemplar 0,001% D (Ruptura tipo D)



Fonte: O autor (2019)

Figura 21 - Corpos de prova após ruptura na idade de 14 dias



Fonte: O autor (2019)

5 CONCLUSÃO

O bloco de concreto é um dos materiais mais conhecidos para utilização na alvenaria, os quais devem atender criteriosamente às normas técnicas vigentes previamente estabelecidas. Embora sejam amplamente empregados no mercado, o cenário atual na engenharia civil vem estimulando a busca por novas alternativas visando a redução de gastos, maior flexibilidade, otimização das etapas de construção e redução do desperdício de materiais. Nesse sentido, o grafeno surge como uma alternativa de inovação. Com isso, o objetivo do presente trabalho foi comparar a resistência à compressão de prismas confeccionados com grafeno e compostos de bloco de concreto.

Com a aplicação da metodologia e posterior análise dos corpos de prova, os resultados demonstraram um benefício equivalente a 23,20% na amostra de óxido de grafeno diluído em água e de 41,05% considerando a amostra de óxido de grafeno em pó após serem rompidos com uma idade de 14 dias. Dessa forma, os dados representaram um valor significativo devido a pouca quantidade de óxido empregado no teste, revelando em média valores de resistência do bloco maiores em relação aos blocos de concreto.

Porém, destaca-se ainda que falhas de adensamento no momento da compactação podem ter comprometido o resultado de determinados corpos de prova, os quais podem não ter sido satisfatórios devido a ocorrência de tal patologia no processo de moldagem. Além disso, no caso do corpo de prova B com 001% de aditivo em pó, foi observada uma inclinação no momento da moldagem, o que ter provocado uma divergência de valores em seu resultado, uma vez que este não sofreu a força axial total.

Portanto, a partir do presente trabalho, é possível concluir que a utilização do grafeno representa uma possibilidade promissora na Engenharia Civil, no sentido de otimizar os métodos construtivos e levar a uma melhor agilidade e praticidade das etapas, e atingindo altos níveis de resistência. Além disso, é preciso salientar que torna-se necessário que o composto seja melhor explorado cientificamente quanto aos seus métodos de extração e obtenção, para que suas propriedades sejam potencializadas e para que seu uso, de fato, represente um excelente custo-benefício ao setor da construção civil.

REFERÊNCIAS

AGOPYAN, V.; SOUZA, U. E. L.; PALIARI, J. C.; ANDRADE, A. C. **Alternativas para redução do desperdício de materiais nos canteiros de obra**. Coletânea Habitare, v. 2, 1998. Disponível em <<http://www.habitare.org.br/pdf/publicacoes/arquivos/104.pdf>> Acesso em: 14 Março 2019.

ALENCAR, E.; SANTANA, D. **Processos de obtenção do grafeno, suas aplicações e sua importância para o Brasil**. Centro Oswaldo Cruz. 2018. Disponível em: <http://revista.oswaldocruz.br/Content/pdf/Edicao_16_Alencar_Eduardo.pdf> Acesso em: 28 maio 2019.

AMERICO, José. **Bloco de concreto para alvenaria em construções industrializadas**. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-29012009-104204/PT-br.php>>. Acesso em: 30 set. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT NBR 5739. Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT NBR 6136. Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2014. 10 p.

BABAK, F.; ABOULFAZL, H.; ALIMORAD, R.; PARVIZ, G. Preparation and mechanical properties of graphene oxide: cement nanocomposites. **The Scientific World Journal**, v. 4, 2014.

BARCELOS, Ingrid David. **Crescimento de Grafeno por CVD em folhas de Cobre**. 2010. 66 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Física, Instituto de Ciências Exatas - Icx, Universidade Federal de Minas Gerais - Ufmg, Belo Horizonte, 2010. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/JCBV-8PALHG>>. Acesso em: 30 set. 2018.

BERTOLINI, Luca. **Materiais de construção: patologia, reabilitação, prevenção**. 1 São Paulo: Oficina de textos, 2010. P.194-204.

BESSER. **The concrete century**. Disponível em: <<https://besser.com/100years/concretcentury.pdf#search=%22%22block%20machine%22%20besser%20history%20pdf%22>> Acesso em: 14 março de 19.

CASTRO, E. **Estudo da resistência à compressão do concreto por meio de testemunhos de pequeno diâmetro e esclerometria**. 122 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2009.

CASTRO, M. O. **Síntese de grafeno pelo método CVD**. Dissertação (Mestrado em Física) – Departamento de Física, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

CHUAH, S.; PAN, Z.; SANJAYAN, J. G.; WANG, C. M.; DUAN, W. H. Nano reinforced cement and concrete composites and new perspective from graphene oxide. **Construction and Building Materials**, v. 73, p. 113-124, 2014.

COLEVATTI. **Os blocos e as normas**. 2008. Disponível em <www.colevattivendas.com/osblocos-e-as-normas.html>. Acesso em: 30 set. 2018.

DIMOV, D.; AMIT, I.; GORRIE, O.; BARNES, M. D.; TOWNSEND, N. J.; NEVES, A. I. S.; WITHERS, F.; RUSSO, S.; CRACIUN, M. F. Ultrahigh performance nanoengineered graphene – concrete composites for multifunctional applications. **Advanced Functional Materials**, v. 1705182, p. 1-12, 2018.

FARIA M. S. **Alvenaria estrutural com blocos de concreto**. 2015. Disponível em: <<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/upload/ativos/229/anexo/matercomp.pdf>>. Acesso em: 30 set. 2018.

FEI, Z. Electrically detecting infrared light. **Nature Materials**, v. 17, p. 950-957, 2018.

FREIRE, B. S. **Sistema construtivo em alvenaria estrutural de bloco de concreto**. 2007. Disponível em: <<http://engenharia.anhembri.br/tcc-07/civil-09.pdf>>. Acesso em: 09 out 2018.

GONÇALVES, A. B. **Crescimento, Propriedades Estruturais e Eletrônicas de Grafeno Epitaxial**. 2012. 107 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências, Departamento de Física, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUOS-98KHA7/tese_alem_20120517_final.pdf?sequence=1>. Acesso em: 05 out. 2018.

GONÇALVES, A. H. L.; MELO, L. G. M.; RIBEIRO, B. M. **Avaliação de blocos de concreto estrutural fabricados na cidade de Uberlândia – MG**. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil), Universidade Unitri, Uberlândia. 2018.

GONÇALVES, Rebeca Dourado. **Propriedades estruturais e eletrônicas de nanotubos e nanofitas BxCyNz: UM ESTUDO POR PRIMEIROS PRINCÍPIOS**. 2013. 86 f. Tese (Doutorado) - Curso de Física, Departamento de Física, Universidade Federal da Paraíba Centro de Ciências Exatas e da Natureza, João Pessoa, 2013. Disponível em: <<http://tede.biblioteca.ufpb.br/handle/tede/5754>>. Acesso em: 10 ago. 2018.

HELENE, P. R. L.; GALANTE, R. **Concreto colorido**. In: Congresso Brasileiro do Cimento, 5, 1999. São Paulo. P. 1-9. CD-ROM.

IZQUIERDO, I. S. **Uso de fibra natural de sisal em blocos de concreto para alvenaria estrutural**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

LAVOR, I. R. **Propagação de pacote de onda gaussiano em monocamada e bicamada de grafeno**. 2016. 146 p. Dissertação (Mestrado em Física) – Departamento de Física, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

LORDSLEEM JUNIOR, Alberto. C. et al. **Blocos de concreto para vedação: estudo da conformidade através de ensaios laboratoriais**. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_TN_STO_073_519_12236.pdf>. Acesso em: 30 set. 2018

MARINOSKI, D. **Alvenarias: conceitos, alvenaria de vedação, processo executivo**. 2011. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/Aula%20-%20Alvenarias_%20introducao+vedacao.pdf>. Acesso em: 28 set. 2018.

MATOS, C. J. S. Economia do grafeno é altamente lucrativa. **Caderno de Economia**, Câmara dos Deputados, 2017. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/camaranoticias/noticias/economia/546132-economia-do-grafeno-e-altamente-lucrativa.html>> Acesso em: 28 maio 2019.

MENDES, R. J. K. **Resistência à compressão de blocos cerâmicos estruturais**. 1998. 204 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

MOHAMAD, G. et al. Desenvolvimento de uma nova concepção geométrica para blocos de concretos não modulares para alvenaria estrutural. **Porto Alegre. Ambiente Construído**, v.15, n. 2, P. 127-152, 2015.

NASCIMENTO, F. B. C.; OLIVEIRA, D. J. T. M.; PAULA, I. C.; LIMA, L. R. S.; VASCONCELOS, L. T. Uso de blocos de concreto na construção civil. **Cadernos de Graduação**, v. 3, n. 2, 2016.

NASCIMENTO, J. P. et al. Esfoliação do Grafite Natural em N-metilpirrolidona e Clorofórmio para Obtenção de Grafenos. In: 35ª Reunião Anual Sociedade Brasileira de Química, 35., 2012, Águas de Lindóia. **Sociedade Brasileira de Química (SBQ)**. 2012. p. 1 - 1. Disponível em: <<http://sec.s bq.org.br/cdrom/35ra/resumos/T2119-1.pdf>>. Acesso em: 29 set. 2018.

NOVOSELOV, K. S.; GEIM, A. K.; MOROZOV, S. V.; DUBONOS, S. V.; ZHANG, Y.; JIANG, D. Room-temperature electric field effect and carrier-type inversion in graphene films. **Nature**, 2004.

NOVOSELOV, K. S.; FALKO, V. I.; COLOMBO, L.; GELLERT, P. R.; SCHWAB, M. G.; KIM, K. A roadmap for graphene. **Nature**, v. 492, p. 192-200, 2012.

OLIVEIRA, D. J. T. M.; PAULA, I. C.; LIMA, L. R. S.; VASCONCELOS, L. T.; NASCIMENTO, F. B. C. Uso de blocos de concreto na construção civil. **Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 3, n. 2, p. 103-118, 2016.

PAN, Z.; HI, L.; QIU, L.; KORAYEM, A. H.; LI, Z.; ZHU, J.; COLLINS, F.; LI, D.; DUAN, W. H.; WANG, M. C. Mechanical properties and microstructure of a

graphene oxide-cement composite. **Cement and Concrete Composites**, v. 58, p. 140-147, 2015.

PATON, K. R.; VARRLA, E.; BACKES, C.; SMITH, R. J.; KHAN, U.; O'NEILL, A., et al. Scalable production of large quantities of defect-free few-layer graphene by shear exfoliation in liquids. **Nature Materials**, n. 13, p. 624-630, 2014.

QIU, B.; ZHOU, Y.; MA, Y.; YANG, X.; SHENG, W.; XING, M.; ZHANG, J. Facile synthesis of the Ti³⁺ self-doped TiO₂-graphene nanosheet composites with enhanced photocatalysis. **Scientific Reports**, v. 5, n. 8591, 2015.

QUINTANA, Mildred; TAPIA, Jesús Iván; PRATO, Maurizio. Liquid-phase exfoliated graphene: functionalization, characterization, and applications. **Beilstein Journal Of Nanotechnology**, v. 5, p. 2328-2338, 2014.

SALOMÃO, P. E. A.; SILVA, B. A.; BARBOSA, F. A. Chemical stabilization of Franco texture soil: addition of lime and cement. **Research, Social and Development**, v. 8, n. 5, 2019.

SANDES, V. S. **Estudo sobre a qualidade dos blocos de concreto em fábricas de Feira de Santana**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Tecnologia da Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2008.

SANTOS, Altair. **Bloco de concreto começa a virar o jogo**. 2011. Disponível em: <[http:// www.cimentoitambe.com.br/bloco-de-concreto-comeca-a-virar-o-jogo/](http://www.cimentoitambe.com.br/bloco-de-concreto-comeca-a-virar-o-jogo/)>. Acesso em: 29 set. 2018

SILVA, M. A. **Concepção estrutural**: histórico e conceitos; Alvenarias de vedação e alvenarias estruturais; Materiais estruturais. 2013. Disponível em: <[http://pt.slideshare.net/ mastheusadam/materiais-e-sistemas-construtivos-02](http://pt.slideshare.net/mastheusadam/materiais-e-sistemas-construtivos-02)>. Acesso em: 29 set. 2018

SILVESTRE, M. **Alvenaria estrutural em pauta**. 2013. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/conteudo/imprensa/noticias/alvenaria-estrutural-em-pauta>>. Acesso em: 28 set. 2018.

SIMON, D. A. **Esfoliação do grafite e produção de masterbatch de grafeno/FLG para produção de nanocompósitos**. 2016. 104 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Materiais) – Departamento de Ciência dos Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

SOLDANO, C.; MAHMOOD, A.; DUJARDIN, E. Production, properties and potential of graphene. **Carbon**, v. 48, n. 8, p. 2127-2150, 2010.

SOUSA, J. G. G. **Contribuição ao estudo da relação entre propriedades e proporcionamento de blocos de concreto**: aplicação ao uso de entulho como agregado reciclado. 141 p. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Brasília, Brasília, 2001.

TAGUCHI, M. K. **Avaliação e qualificação das patologias das alvenarias de vedação nas edificações**. 2010. 87 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

TANGO, C. E. S. **Fundamentos de dosagem de concreto para blocos estruturais**. In: International Seminar on Structural Masonry for Developing Countries, 5. Florianópolis, 1984.

TIWARI, S. K.; KUMAR, V.; HUCZKO, A.; ORAON, R.; ADHIKARI, A. D.; NAYAK, G. C. Magical Allotropes of Carbon: Prospects and Applications. **Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences**, 2016. DOI: 10.1080/10408436.2015.1127206.

VILLELA, M. **Brasil ganha o primeiro centro de pesquisas em Grafeno da América Latina**. 2016. Disponível em: <<http://noticiasmineracao.mining.com/2016/02/25/brasil-ganha-o-primeiro-centro-depesquisas-em-grafeno-da-america-latina/>>. Acesso em: 28 maio 2019.

YAZIGI, W. **A Técnica de Edificar**. 13. Ed. São Paulo: Pini; Sinduscon, 2013. p. 510-511