

Assinado digitalmente por: Silenia Priscila da Silva
Lemes
Razão: Sou responsável pelo documento
Localização: FAEMA - Ariquemes/RO
O tempo: 14-12-2020 20:54:10



FACULDADE DE EDUCAÇÃO E MEIO AMBIENTE

SIMONÍ BARROS DA SILVA

ESTUDO COMPARATIVO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS ENTRE ARGAMASSA DE CIMENTO PORTLAND CONVENCIONAL E ARGAMASSA COM ADIÇÃO NANOTUBO DE CARBONO – NTC

ARIQUEMES - RO

2020

Assinado digitalmente por: Driano Rezende
Razão: Sou responsável pelo documento
Localização: FAEMA/Ariquemes - RO
O tempo: 14-12-2020 21:58:49

Assinado digitalmente por: Joao Victor da Silva
Costa
Razão: Sou responsável pelo documento
Localização: FAEMA - Ariquemes/RO
O tempo: 14-12-2020 22:20:41

SIMONÍ BARROS DA SILVA

**ESTUDO COMPARATIVO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS ENTRE
ARGAMASSA DE CIMENTO PORTLAND CONVENCIONAL E ARGAMASSA COM
ADIÇÃO NANOTUBO DE CARBONO – NTC**

Trabalho de conclusão de curso, para a obtenção do
Grau Bacharel em Engenharia Civil apresentado a
Faculdade de Educação e Meio Ambiente – FAEMA.

Orientador (a): Prof. (a). Me. Silênia Priscila Lemes.

ARIQUEMES - RO

2020

FICHA CATALOGRÁFICA
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Júlio Bordignon - FAEMA

SI586e

SILVA, Simoní .

Estudo comparativo das propriedades mecânicas entre argamassa de cimento portland convencional e argamassa com adição nanotubo de carbono - NTC. / por Simoní Silva. Ariquemes: FAEMA, 2020.

62 p.; il.

TCC (Graduação) - Bacharelado em Engenharia Civil - Faculdade de Educação e Meio Ambiente - FAEMA.

Orientador (a): Profa. Ma. Silênia Priscila da Silva Lemes.

1. Nanotecnologia. 2. Nanotubo de carbono. 3. Argamassa de cimento portland. 4. Nanociência . 5. Resistência mecânica. I Lemes, Silênia Priscila da Silva. II. Título. III. FAEMA.

CDD:620.1

Bibliotecária Responsável
Herta Maria de Açucena do N. Soeiro
CRB 1114/11

SIMONÍ BARROS DA SILVA

**ESTUDO COMPARATIVO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS ENTRE
ARGAMASSA DE CIMENTO PORTLAND CONVENCIONAL E ARGAMASSA COM
ADIÇÃO NANOTUBO DE CARBONO – NTC**

Trabalho de conclusão de curso, para a obtenção do
Grau Bacharel em Engenharia Civil apresentado a
Faculdade de Educação e Meio Ambiente – FAEMA.

Orientador (a): Prof. (a). Me. Silênia Priscila Lemes.

Banca examinadora

Prof. Me., Silênia Priscila Lemes

Faculdade de Educação e Meio Ambiente – FAEMA

Prof. Dr. Driano Rezende

Faculdade de Educação e Meio Ambiente – FAEMA

Prof. Esp. João Victor da Silva Costa

Faculdade de Educação e Meio Ambiente – FAEMA

ARIQUEMES - RO

2020

Dedico a minha família, meu porto seguro.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por ter me concedido forças para a conclusão deste trabalho.

Aos meus pais, João Rodrigues e Cleuza Maria de Barros, por me apoiar, às minhas irmãs Juliana e Jaqueline pelo incentivo.

Ao meu sobrinho João Pedro Masquietto, meus cunhados Ailton e Silvio.

Ao meu namorado João Pedro Carvalho, a todos meus familiares, principalmente a minha tia Rosa e Deli.

À minha Orientadora Silênia Priscila, por me ajudar em todas as etapas deste trabalho e a todos os professores que contribuíram em conhecimentos ao longo desta jornada.

“Os que confiam no Senhor serão como o monte Sião, que não se abala, mas permanecem para sempre”.

Salmos: 125:1.

RESUMO

A nanotecnologia tem desempenhado estudos em materiais para elaborações de inovações em diversas áreas. Na engenharia o NTC (nanotubo de carbono) vem se destacando muito, onde ainda está em fase de estudos e descobertas. O nanotubo de carbono é um material indispensável para engenharia, por apresentar propriedades extraordinárias, como alta resistência e rigidez, comparando aos materiais conhecidos. Em análise nos materiais que é utilizado na construção, a argamassa de cimento portland, é muito utilizada, porém ainda há muito no que melhorar em relação a sua resistência; cientistas vem estudando a possibilidade do NTC melhorar a qualidade do material, devido o NTC apresentar propriedades excepcionais, considerando ser mais resistente quando comparado a um cabo de aço. A presente pesquisa tem como objetivo avaliar o comportamento mecânico da argamassa de cimento portland, com adição de nanotubo de carbono NTC nas porcentagens de 0,20% e 0,30%, em comparação com a argamassa convencional, através de ensaios laboratoriais, como índice de consistência, densidade da massa e teor de ar incorporado no estado fresco e os ensaios de compressão simples, tração na flexão e a compressão no estado endurecido. Os resultados dos ensaios de compressão simples e tração na flexão e compressão dos prismáticos obtiveram melhorias na resistência mecânica das argamassas em grande parte dos traços em comparação aos de referência, podendo destacar a resistência à compressão das argamassas prismática com adição de 0,30% de nanotubo de carbono, onde obteve resistência superior a argamassa de referência em todas as idades, tendo um acréscimo de 14,90% aos 28 dias em relação a argamassa de referência. Resultados que servirão para base de mais estudos referentes a este material.

Palavras-chave: Nanotecnologia. Nanotubo de carbono. Argamassa de cimento portland.

ABSTRACT

Nanotechnology has played studies in materials for innovations in several areas. In Engineering NTC (Carbon Nanotube) comes highlighting a lot, where it is still being studies and discovered. The nanotube carbon is an indispensable material for engineering, because it has properties extraordinary features such as high strength and stiffness, compared to materials known. Under analysis in the materials that used in the construction, the mortar of portland, it is very used, however, there is still much to improve in relation to material quality, due to NTC present properties exceptional, considers be more resistant than compared to a steel cable. The present research has as objective to assess the mechanical behavior of the portland clamped, addition of NTC carbon nanotube in the percentages of 0,2% and 0,3% in comparison with conventional mortar, through laboratory tests, such as indention of consistency, mass density and air content incorporated in the cool and simple compression tests, bending traction and the compression in the state hardened. The results of the tests of simple compression and traction in flexion and compression of the prismatic obtained improvements in the mechanical resistance of the mortars in a large part of the strokes in comparison to the reference ones, being able to highlight the compression resistance of the prismatic mortars with addition of 0.30% of carbon nanotube, where it obtained superior resistance to the reference mortar at all ages, with an increase of 14.90% at 28 days in relation to the reference mortar. Results that will serve as a basis for further studies regarding this material.

Keywords: Nanotechnology. Carbon Nanotube. Mortar Portland Cement.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAP'S	Corpos de Provas
ET All	E Outros
N&N	Nanociência e Nanotecnologia
NTC	Nanotubo de Carbono
NN	Nanômetro
NTCPS	Nanotubo de Parede Simples
NTCPM	Nanotubo de parede múltipla
ABNT	Associação de Normas Técnicas Brasileira
FAEMA	Faculdade de Educação e Meio Ambiente

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - DIAGRAMA DA FORMAÇÃO DO NTC.	18
FIGURA 2- GEOMETRIAS DE NTC PERFEITOS: (A) ARMCHAIR, (B) ZIG-ZAG, (C) CHIRAL.	19
FIGURA 3 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO NANOTUBO DE CARBONO DE PAREDE ÚNICA (NTCPS) X PAREDES MÚLTIPLAS (NTCPM).	20
FIGURA 4 - NANOTUBO DE PAREDE SIMPLES.	20
FIGURA 5 - NANOTUBO DE PAREDES MÚLTIPLAS.	22
FIGURA 6 -REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE UM REATOR CVD.	23
FIGURA 7 - REPRESENTAÇÃO DO APARATO EXPERIMENTAL DE ABLAÇÃO POR LASER.	24
FIGURA 8 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA PARA SÍNTESE DE NTC POR DESCARGA POR ARCO ELÉTRICO.	25
FIGURA 9 - NANOTUBO DE CARBONO	30
FIGURA 10 - ESPECTRO DE RAIOS-X DO NANOTUBO DE CARBONO	32
FIGURA 11 - CURVA DE TEMOGRAVIMETRIA (TGA) DOS NANOTUBO DE CARBONO	33
FIGURA 12 - ARGAMASSADEIRA AUTOMÁTICA	35
FIGURA 13 - LAVADORA ULTRASSÔNICAS	36
FIGURA 14 - DISPERSÃO DO NTC	37
FIGURA 15 - NANOTUBO DE CARBONO DISPERSO	37
FIGURA 16 - (A) MOLDE CILÍNDRICO, (B) MOLDE PRISMÁTICOS PARA MOLDAGEM	38
FIGURA 17 - MESA PARA ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA E MOLDE TRONCO CÔNICO	40
FIGURA 18 - PRENSA PARA ENSAIO DE COMPRESSÃO.....	41
FIGURA 19 - (A) ENSAIO TRAÇÃO NA FLEXÃO; (B) ENSAIO COMPRESSÃO.....	42
FIGURA 20 - (A) ARGAMASSA REFERÊNCIA; (B) ARGAMASSA COM NTC	43
FIGURA 21 - DENSIDADE DE MASSA X TEOR DE AR INCORPORADO	45
FIGURA 22 - RESISTENCIA MÉDIA A COMPRESSÃO (CILÍNDRICO)	46
FIGURA 23 - RESISTÊNCIA MÉDIA TRAÇÃO NA FLEXÃO (PRISMÁTICO).....	49
FIGURA 24 - COMPARAÇÃO DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO ENTRE CORPO DE PROVA CILÍNDRICO E PRISMÁTICO	53

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - PROPRIEDADES DE NCPS E FIBRAS DE CARBONO.....	21
TABELA 2 - COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA, MASSA ESPECÍFICA E TEOR DE UMIDADE	30
TABELA 3 - TABELA DE NOMENCLATURA	34
TABELA 4 - QUANTIDADE DE CORPOS DE PROVA.....	39
TABELA 5 - QUANTIDADE DE CORPOS DE PROVA.....	39
TABELA 6 - ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA DAS ARGAMASSA	43
TABELA 7 - DENSIDADE DE MASSA E TEOR DE AR INCORPORADO	44
TABELA 8 - CLASSIFICAÇÃO DAS ARGAMASSAS EM FUNÇÃO DA DENSIDADE DE MASSA NO ESTADO FRESCO.....	44
TABELA 9 - RESISTÊNCIA MÉDIA A COMPRESSÃO (CILÍNDRICO)	45
TABELA 10 - RESISTENCIA MÉDIA A TRAÇÃO NA FLEXÃO (PRISMÁTICO)	48
TABELA 11 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA COMPRESSÃO – NBR 13279/05.....	50
TABELA 12 - RESISTENCIA MÉDIA A COMPRESSÃO (PRISMÁTICO).....	51
TABELA 13 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA COMPRESSÃO – NBR 13279/05.....	52

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	16
2.1	OBJETIVO PRIMÁRIO	16
2.2	OBJETIVOS SECUNDÁRIO	16
3	REVISÃO DE LITERATURA	17
3.1	NANOCIÊNCIA E NANOTECNOLOGIA	17
3.2	NANOTUBO DE CARBONO	17
3.3	CLASSIFICAÇÃO DOS NANOTUBO DE CARBONO	18
3.3.1	NTC Paredes Simples	20
3.3.2	NTC Paredes Múltiplas	21
3.4	MÉTODOS PARA OBTENÇÃO DO NANOTUBO DE CARBONO	22
3.4.1	Deposição Química de Vapor (CVD)	22
3.4.2	Ablação por Laser	23
3.4.3	Descarga de Arco Elétrico	24
3.5	NANOTUBOS DE CARBONO COMO REFORÇO EM MATRIZ CIMENTÍCEAS	25
4	METODOLOGIA	29
4.1	MATERIAIS UTILIZADOS	29
4.1.1	Nanotubo de Carbono (NTC)	29
4.1.2	Cimento	30
4.1.2	Areia	30
4.1.2	Água	31
4.1.3	Caracterização do Nanotubo de Carbono	31
4.1.4	Difração de Raios-X	31
4.1.5	Análise Termogravimétrico (TGA)	32
4.2	PROCEDIMENTO DE CONFECÇÃO DA ARGAMASSA	33
4.2.1	Dosagem da Argamassa de Cimento Portland	33
4.2.2	Mistura da Argamassa de Cimento Portland	35
4.2.2.1	Procedimento do preparo da argamassa de cimento Portland referência conforme a norma NBR 7215: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão.	35
4.2.2.2	Preparo da argamassa de cimento Portland com adição do NTC	36
4.4.1	Resistência à Tração na Flexão e a Compressão	41
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
5.1	CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS EM SEU ESTADO ENDURECIDO	45

6 CONCLUSÃO	54
6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	55
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56
APÊNDICE	60

1 INTRODUÇÃO

Segundo Morais (2012), a área da construção civil tem se desenvolvido muito globalmente, é o setor que mais cresce atualmente, pois o mundo ao redor depende desse setor, assim como os materiais de uso precisam ser desenvolvidos gradativamente, para que cada vez mais possa haver melhorias. O cimento é um dos principais materiais que se utiliza na construção civil, pois necessita para várias aplicações, como construções de habitação, comércios, estradas, viadutos, barragens. Porém possui fatores que comprometem a aplicação e originando patologias indesejáveis nas construções, como má manuseamento do concreto, a fabricação, a má aplicação, o clima existente, a estrutura da construção, o tempo de cura, a não elaboração dos ensaios, por isso há muitas construções que estão com problemas, como trincas, rachaduras, fissuras e até mesmo em casos mais críticos de desabamento.

Conforme Helene (2003), as patologias das edificações não surgem de forma inesperada e sem alguma razão, em geral o surgimento possui devido a alguma falha na execução de alguma etapa da construção, para saber o motivo do surgimento da patologia é necessário fazer a verificação de como foi executado, para descobrir o motivo da existência da patologia.

Diante desses problemas abrangendo este setor, pesquisas realizadas na área de construção civil, no aprimoramento de um dos principais materiais das construções, cimento Portland, a nanotecnologia também está presente, através do nanotubo de carbono (NTC). Acredita-se que este material tão leve, venha fazer parte do processo de fabricação para se ter um material de maior qualidade. Sabe-se que a nanotecnologia ainda se encontra em processo de desenvolvimento, a quais possui exemplos já conhecidos, mas é um assunto que ainda se encontra em estudos para aprimoramento (RIBEIRO, 2017).

Em 1991, o pesquisador japonês Sumio Iijima, descobriu maneiras de se produzir um tipo diferente de estrutura de carbono que ficou conhecida como nanotubo de carbono, onde NTCs são cilindros formados por átomos de carbono. Eles possuem escala manométrica, e medem aproximadamente 3nm de diâmetro por 1000nm de comprimento, sendo que um manômetro corresponde a um bilionésimo do metro (RIBEIRO, 2017).

Marcondes (2012) relata que a adição de NTC é algo relativamente novo na tecnologia do concreto e os benefícios de sua utilização precisam ser melhor estudados a fim de comprovar sua eficiência em aplicações práticas.

Contudo, a pesquisa consiste em estudar as propriedades mecânicas da argamassa junto ao nanotubo de carbono, para analisar as diferentes mudanças comportamentais, se realmente o nanotubo de carbono pode ser um material benéfico para maior resistência desse material.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO PRIMÁRIO

O principal objetivo desta pesquisa é analisar o comportamento das propriedades mecânicas da argamassa, após a adição de nanotubo de carbono (NTC), em corpos de provas, através de ensaios laboratoriais.

2.2 OBJETIVOS SECUNDÁRIO

- Confeccionar argamassas de cimento Portland de referência e com adições de nanotubo de carbono (NTC), sendo os teores de 0,20% e 0,30% em comparação a massa do cimento;
- Analisar o comportamento da argamassa com adição de NTC no seu estado fresco.
- Analisar o comportamento da argamassa com adição de NTC no seu estado endurecido.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 NANOCIÊNCIA E NANOTECNOLOGIA

Os termos nanociência e nanotecnologia estão relacionados a todos os materiais em escala manométrica. Uma descoberta da ciência e da tecnologia, onde objetos e materiais, possam passar por adaptações com a adição de compósitos nanômetros (MELO e PIMENTA, 2004).

A N&N estão relacionadas a palavra, grego nano que significa “anão”, bilionésimo de metro. O termo nano está representado em escala científica 10^9 m ou pelo símbolo nm (nanômetro). Nestes últimos tempos, se estuda muito sobre a N&N para melhoria dos materiais, os benefícios que podem advir, os riscos que podem ocorrer e a diminuição dos impactos ambientais, essa área desperta muito interesse para os cientistas (TOMA, 2004).

Segundo Lemes (2016), a adaptação da estrutura dos materiais com o ajuntamento de nano objetos, acredita-se que haverá o aumento das superfícies de contato e a reatividade, o que irá trazer aos materiais muitas vantagens em relação ao reforço e a eficiência.

Essa adição de nano compósitos, permite a todas as áreas inúmeros benefícios para criação de novas matérias, apenas com uma pequena proporção de nano material.

3.2 NANOTUBO DE CARBONO

Segundo Toma (2004), os NTCs são uma das descobertas mais recentes no domínio dos nanomateriais, sendo compostos por tubos com dimensões até 100 mil vezes menores em relação ao diâmetro de um fio de cabelo.

De acordo com Marcondes (2012), pesquisas realizadas na área de nanotecnologia no cimento Portland, com a adições de nano compósitos ao material, traz modificações importantes em suas propriedades, proporcionando a fabricação de concreto mais resistente, menos propenso, com maior durabilidade e menor porosidade.

Poole (2003), caracteriza os nanotubo de carbono (NTCs), sendo microestruturas de carbono que, após reunidas, são obtidas a partir de cilindros de

escala manométrica e medem aproximadamente 3nm de diâmetro por 1000 nm de comprimento.

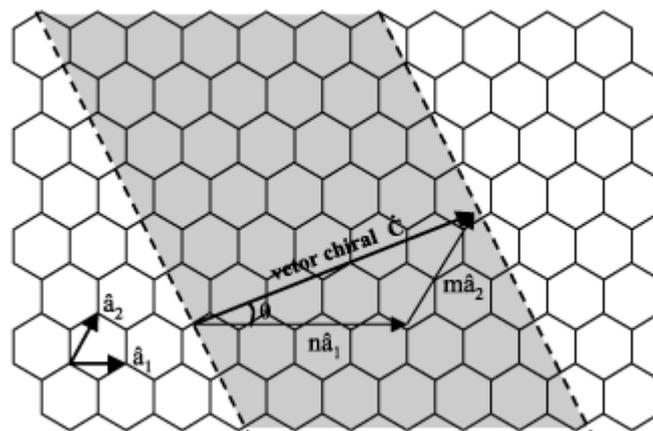
Estudos realizados por Marcondes (2012), NTC apresenta bons resultados, quando submetidos as nanopartículas nas misturas e argamassas de cimento Portland, onde as partículas contribuem para preencher os espaços vazios e melhoraram diversas propriedades desses materiais.

Existem dois principais desafios para a adição de NTC nas misturas de concreto são: a homogeneização e distribuição dos nanotubos na mistura e estudar a interação dos NTCs com os compostos resultantes da hidratação do cimento. Este último aspecto pode ser considerado sendo a maior necessidade a ser estudada pelos cientistas em entender como micropartículas podem ocasionar as mudanças proporcionadas pela adição de NTCs em compostos de cimento Portland, nas alterações na microestrutura, na cinética das reações de hidratação, nos agregados de adesão da pasta, entre outros (BATISTON, et al, 2010).

3.3 CLASSIFICAÇÃO DOS NANOTUBO DE CARBONO

As propriedades do NTC, conforme s o diâmetro e ângulo chiral, compoendo o índice chamado hamada (n, m) ⁶, que influencia de maneira significativa em sua resistência. A letra c, representa o chiral, que está interligado em dois componentes (n, m) e os vetores que compõem a rede hexagonal, representados pelos símbolos a_1 e a_2 , resultando a fórmula final $c = na_1 + ma_2$ que forma o nanotubo de carbono (HERBST et al 2004). Como ilustra a figura 1.

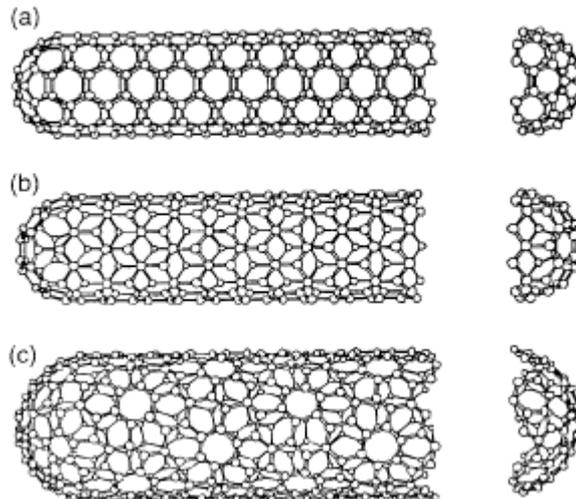
Figura 1 - diagrama da formação do NTC.



Fonte: Herbst et al. (2004).

Os NTC podem ser enrolados de forma diferentes como: armchair ($n = m$), zig-zag ($n, m = 0$), ou chiral ($n \neq m \neq 0$), o que influencia que cada forma varia a sua resistência (HERBEST et al., 2004). Conforme ilustra a figura 2 a seguir:

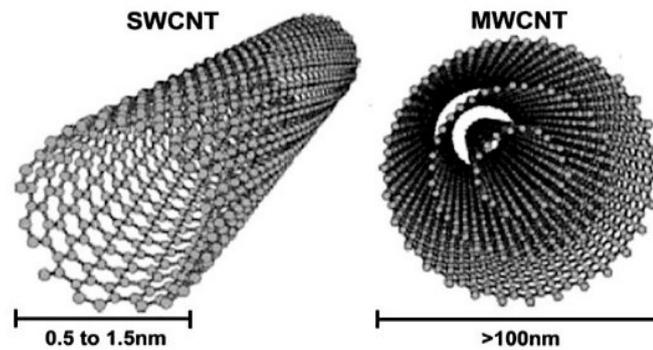
Figura 2- geometrias de NTC perfeitos: (a) armchair, (b) zig-zag, (c) chiral.



Fonte: Herbst et al. (2004)

Os NTC podem ser classificados em dois tipos sendo: os NTC de camada simples (NTCPS) e múltiplas (NTCPM), formado por camadas concêntricas. O NTCPS, considerado um átomo de carbono enrolados em teias de rede hexagonais, onde pode ser fechada pela metade ou eles podem estar abertos. Contudo O NTCPM possui uma estrutura semelhante ao NTCPS, porém com várias paredes concêntricas. E ambos os casos, as principais características possuem estruturas muito satisfatórias do NTC devido ao comprimento, altura, diâmetro raso, ou seja, o diâmetro é da ordem dos nanômetros e seu comprimento pode variar de milímetros de cilindros e até vários metros (DRESSELHAUS, 2001). Na figura 3 pode ser observado a representação esquemática do nanotubo de carbono de parede única e múltipla.

Figura 3 - Representação esquemática do nanotubo de carbono de parede única (NTCPS) x paredes múltiplas (NTCPM).

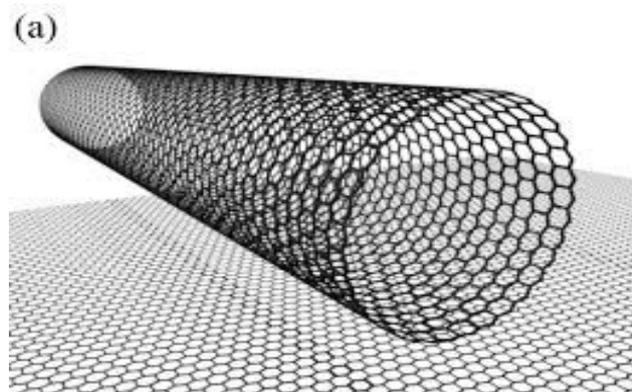


Fonte: Ribeiro, et al. (2016).

3.3.1 NTC Paredes Simples

Os NTC de parede simples são compostos por apenas uma folha de grafeno enroladas entre si, em forma de um cilindro, possui um diâmetro de aproximadamente 0,5 a 1,5 nm (IJIMA, 2002), como ilustra a figura 4 abaixo:

Figura 4 - Nanotubo de parede simples.



Fonte: Ferreira (2009).

O NTCPS possui ligação covalente, com uma parede unidimensional única, o tamanho nanométrico e a alta proporção, são as características dos NTCPS que proporcionam altas propriedades ao material, como a alta resistência a altas temperaturas, alta resiliência, componentes eletrônicos de condutores a

semicondutores e alta condutividade térmica (NIYOGY et al., 2002). A seguir algumas propriedades expressas do NTCPS na tabela 1.

Tabela 1 -Propriedades de NCPS e fibras de carbono.

Propriedade	NCPS	Fibras de Carbono
Densidade específica	0,8 g.cm ⁻³	2 g.cm ⁻³
Módulo de elasticidade	~1 TPa	~300 GPa
Resistência	50-500 GPa	~5 GPa
Resistividade	5-50 . 10 ⁻⁵ Ω.cm	1 . 10 ⁻³ Ω.cm
Expansão térmica	Desprezível (teórico)	-1 . 10 ⁻⁶ K ⁻¹
Estabilidade térmica	>700°C (no ar);	500°C (no ar);
	2800°C (no vácuo)	3000°C (no vácuo)

Fonte: Endo Et Al. (2001); Desai & Haque (2005); Xie Et Al. (2005). Siqueira Et Al. (2006).

De acordo com Uchida et al Kumar (2005), os NCPS apresentam fibras bem mais resistentes, mas com uma densidade bem pequena. Através de estudos teóricos e experimentos realizados pode-se determinar que os NCPS apresentam módulo de Young entre 640 GPa e 1 TPa, com a resistência à tração de 50 a 500 GPa (XIE et al., 2005) e alongamento entre 5-6% até a sua ruptura (DYKE & TOUR, 2004).

Conforme Melo (2009), a descoberta do NTC foi primeiramente de paredes múltiplas, passando- se 2 anos depois, através de pesquisas que descobriram os NTC de paredes simples.

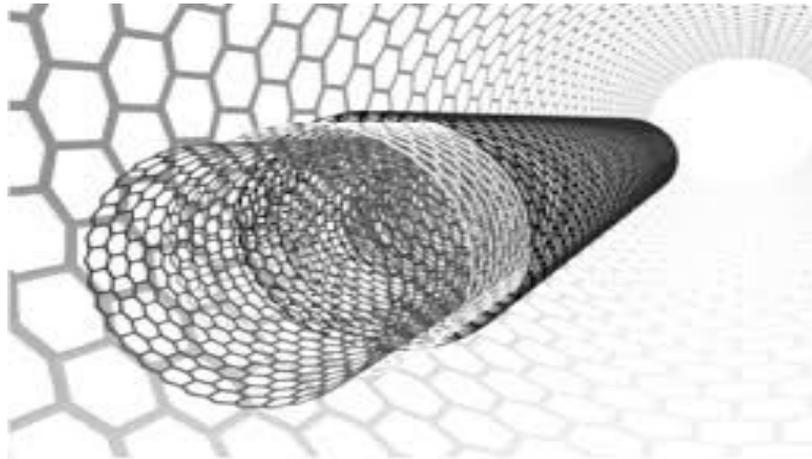
3.3.2 NTC Paredes Múltiplas

Os NTC de parede múltipla (NTCPM), são várias camadas simples enroladas em forma de cilíndrico, até formar tubos no interior, os NTCPM podem ser considerados como várias camadas de NTCPS concêntricos hexagonais com diferentes diâmetros, com um espaçamento entre camadas de 0,34 (IIJIMA 2002).

Conforme Zarbin (2007), os NTC's de paredes múltiplas, possui um diâmetro de 10 a 50 nm aproximadamente, possuindo em torno de 2 a 40 folhas de grafenos enroladas entre si, com um tamanho de 10 micrometros.

O nanotubo de carbono de paredes múltiplas é considerado um excelente condutor elétrico entre metal e semicondutor, possui um módulo de Young de aproximadamente 0,27-0,95 TPa, resistência à tração de 11-63 GPa e condutividade térmica entre 200-3000 W/mK (YU et al., 2000; WANG et al.,2004).

Figura 5 - Nanotubo de paredes múltiplas.



Fonte: Ferreira (2009).

3.4 MÉTODOS PARA OBTENÇÃO DO NANOTUBO DE CARBONO.

Existem diferentes maneiras para se preparar o NTC, dentre as principais: Através da descarga de arco elétrico (IIJIMA, 1991), a ablação por laser (YAKOBSON e SMALLEY, 1997), e a deposição química de vapor CVD (ANDREWS et al., 1999; LYU et al., 2003). Entretanto, essas metodologias são necessárias para limitações importantes como: produção de misturas nanotubo com comprimentos diferentes, sem haver muitos defeitos e variações de torção.

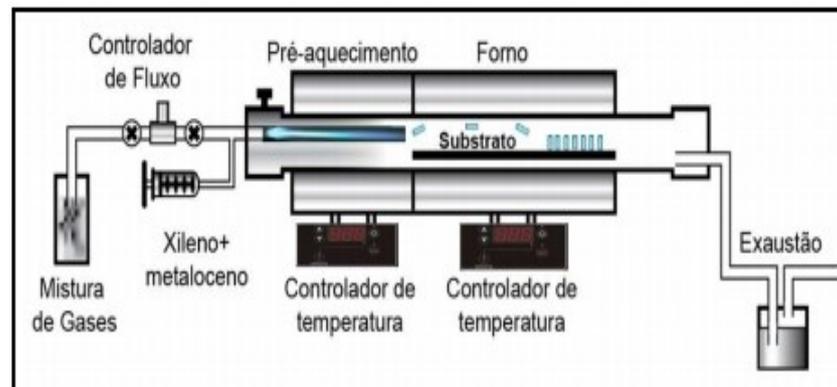
3.4.1 Deposição Química de Vapor (CVD)

O desenvolvimento do NTC, necessita da utilização de um catalizador, constituído por metais de transição, sendo Fe, Co, e Ni e um precursor de carbono, constituído por hidrocarboneto, na forma de vapor ou gás. Os Hidrocarbonetos constituídos por metano (CH₄), acetileno (C₂H₂) e propileno (C₃H₆), são as propriedades do carbono utilizadas no processo por deposição química de vapor (LYU et al. 2003); (HUANG et al. 2003); (REYHANI et al.2007);

O catalisador utilizado pode ser gerado em seu lugar natural no processo ou preliminarmente suportado em um substrato adequado e sua presença é essencial para a obtenção de nanotubo de carbono (COUTO, 2006).

Segundo estudos de Wang et al., (2007), a obtenção através da deposição química de vapor (CVD) é considerada a que produz o NTC com mais pureza em comparação com a técnica de ablação a laser e descarga de arco, porém para que isso ocorra é necessário que haja o controle dos requisitos como: a temperatura, pressão, quantidade e forma do catalisador. Mas com todos esses cuidados, este processo utiliza-se pirólise de grafite, restando algumas substâncias nocivas, por exemplos resíduos amorfos de carbono e metais de catalisadores, por isso mesmo sendo o método mais eficaz necessita da etapa de purificação. Na figura 6 a seguir, está a representação do processo CVD, para a obtenção do NTC.

Figura 6 -Representação esquemática de um reator CVD.



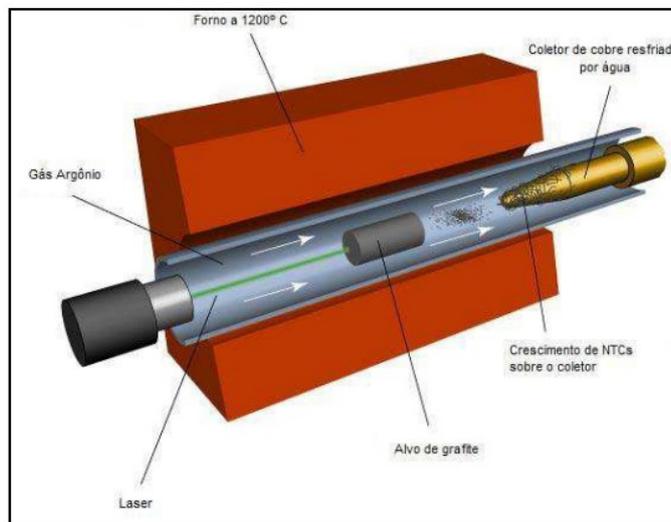
Fonte: Andrews et al. (1999) apud Ferreira (2003).

3.4.2 Ablação por Laser

Este processo ocorre através da vaporização do grafite, de forma direta de irradiação de laser, na presença de uma atmosfera pré-estabelecida. Faz-se a utilização de um bastão sólido de grafite com $d=1,25$ cm e vaporiza-se o carbono em um fluxo de Hélio ou Argônio com velocidades variando entre 0,2 – 2 cm/s e pressão constante de 500 torr. A temperatura entre 1200 a 4000 °C (GOU et al., 1995).

Conforme Seixas (2010), para obtenção do NTC neste processo, primeiro é colocado o bastão do grafite no interior de um tubo de quartzo, que posteriormente é fechado e segregado, aumentando a temperatura a para 1200 °C. Logo em seguida o tubo ser preenchido com gás inerte, o carbono é rastreado com lentes, onde o laser começa a fazer o processo de varredura do grafite, sem que haja a movimentação do grafite, por fim o fluxo de gás transporta os moldes de carbono gerados, transportando para a superfície do coletor. Conforme demonstra a figura 7 a seguir:

Figura 7 - Representação do aparato experimental de ablação por laser.



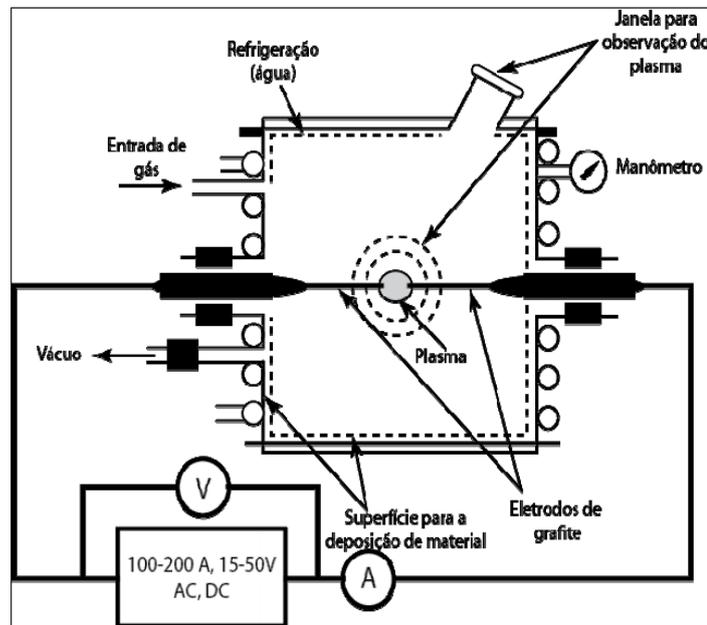
Fonte: Yakobson (1997) Apud Shibata (2011).

3.4.3 Descarga de Arco Elétrico

Segundo Couto (2006), esse foi o primeiro procedimento de obtenção de NTC utilizado por Lijima, no ano de 1991, em uma temperatura de aproximadamente de 3.000 a 4.000 °C, considerado uma temperatura muito alta.

Este método para produção de NTC é através de uma descarga elétrica, por um equipamento de aço, possuindo gás na superfície, acendida entre dois eletrodos de grafite, mantidos a uma distância de menor de 1 mm um do outro, para que a corrente passe e consiga gerar um contato entre eles, originando o grafite que, em seguida, passa por outro processo de através de fuligem, onde se obtém os NTC (FERREIRA, 2003).

Figura 8 - Representação esquemática para síntese de NTC por descarga por arco Elétrico.



Fonte: Journet e Bernier (1998) apud Ferreira (2003).

3.5 NANOTUBOS DE CARBONO COMO REFORÇO EM MATRIZ CIMENTÍCEAS

O concreto dependendo do lugar que está sendo exposto, pode comprometer a durabilidade da construção, principalmente para estruturas que estão introduzidas a lugares agressivos. A necessidade de melhoria da qualidade, quanto a durabilidade de compósitos de cimento, pode afetar o ciclo de vida da estrutura, sendo uma medida sustentável e que comprometera os custos.

A descoberta de novos materiais avançados em nanotecnologia, sendo os nanotubos de carbono (NTCs), despertou a necessidade de ampliar as propriedades mecânicas do cimento em nanoescala. O aprimoramento de nanotubos de carbono (NTCs) em compósitos de cimento, pode ocasionar diretamente com o aumento resistência à compressão, à tração e na diminuição da porosidade, o que pode melhorar muito na qualidade do concreto (COELHO et al., 2018).

Chaipanich (2010), em seu estudo comprovou que a adição de nanotubos de carbono, juntamente com cinzas volantes aumentou a resistência de cimentos. Na

pesquisa, utilizou-se teores de 0,5% e 1% de nanotubo de carbono, com 20% de cinza volante, onde houve aumento na resistência à compressão de 10% em relação ao de referência.

Melo (2009), em sua pesquisa obteve em seus resultados, um aumento da resistência à compressão e à tração em matrizes de cimento Portland com adição de NTCs, utilizando uma porcentagem de 0,3 % de NTC, onde pode observar uma redução no tamanho médio dos poros, o que pode ocasionar no aumento da durabilidade de estruturas de concreto.

3.6 ARGAMASSAS

As argamassas são compreendidas como sendo uma mistura composta de aglomerantes com um agregado miúdo e água e também com a adição de aditivos, que após misturados forma uma pasta que ao ser aplicada, passa pelo processo endurecimento e de aderência. As argamassas podem ser utilizadas em diversas aplicações na construção civil, dentre as principais estão confecção de pisos, rejuntamento de alvenaria, revestimento de parede e tetos, argamassa armada.

3.6.1 Funções das Argamassas

Conforme Sabbatini (1984), as argamassas são responsáveis principalmente em:

- Proteger as alvenarias e a estrutura dos agentes agressivos, agindo como proteção das intempéries;
- Auxiliar na durabilidade e diminuir o tempo de manutenção dos edifícios;
- Ajudar no isolamento termo acústico, segurança ao fogo;
- Manter a estética do ambiente;

3.6.2 Propriedades das Argamassas

3.6.2.1 Consistência

De acordo com Cincotto et al. (1995), a consistência pode ser caracterizada, sendo como a argamassa se comporta em seu estado fresco, onde o principal requisito é resistir à deformação. A consistência das argamassas, caracteriza como

sendo secas, plástica e fluida. É determinada diretamente pelo teor de água, devido a relação água / aglutinante, relação aglutinante / areia, granulometria da areia, natureza e qualidade do ligante.

3.6.2.2 Trabalhabilidade

Esta propriedade está principalmente relacionada à consistência. Em termos prático, trabalhabilidade significa facilidade de manuseio. Considera-se uma argamassa é trabalhável, quando é facilmente distribuída quando assentada, não pregando na ferramenta quando esta está sendo aplicada, de modo que não se segrega quando está sendo manuseada, permanece trábavel, quando entra em contato com superfícies absorventes e permanece plástico até sua aplicação final (SABBATINI, 1984).

3.6.2.3 Tixotropia e coesão

Compreende-se por tixotropia sendo a propriedade onde um material sofre transformações isotérmica e reversível do sólido ao gel. Este processo na argamassa, consiste na massa coesiva do ligante na pasta, tornando- a mais denso após hidratação.

Coesão, refere-se nas forças físicas de atração entre as partículas de argamassa sólida no estado fresco e ligações químicas da massa. Ainda assim, segundo os autores, a influência da cal sobre a consistência e trabalhabilidade das argamassas vem das condições de coesão interna que oferece, devido à diminuição da tensão superfície do ligante e adesão ao agregado (CINCOTTO et al., 1995).

3.6.2.4 Plasticidade

De acordo com CINCOTTO et al. (1995), plasticidade da argamassa consiste na propriedade pela qual a argamassa no estado fresco tende a ser preservada deformado após a redução das deformações, plasticidade e consistência são as duas propriedades da argamassa que influenciam diretamente na trabalhabilidade e são

influenciados pelo conteúdo de ar aprisionado, natureza e conteúdo dos ligantes e a intensidade da mistura da argamassa.

3.6.2.5 Retenção de água

Caracteriza-se como retenção de água sendo a capacidade da argamassa em seu estado fresco manter sua consistência ou trabalhabilidade, após passar por solicitações que podem causar perdas de evaporação, sucção do substrato ou endurecimento do cimento e carbonatação da cal (CINCOTTO et al, 1995).

3.6.2.6 Adesão inicial

Conforme Cincotto et al., (1995), a adesão inicial da argamassa como proprio nome diz ocorre no estado fresco do substrato, é uma propriedade que caracteriza o comportamento futuro do revestimento definido em termos de desempenho devido à adesão. Para se ter uma boa aderência inicial da argamassa é necessário seguir as recomendações quanto aos cuidados para não deixar que a massa entre em contato com algum resíduo que venha comprometer as propriedades da argamassa.

3.6.2.7 Aderência no Estado Endurecido

O autor Sabbatini (1984), descreve como sendo aderência da argamassa ao substrato a capacidade que uma interface substrato tem para absorver tensões de cisalhamento, de compressão e tração, sem quebrar, onde não há correspondência direta. Por exemplo, aumento o conteúdo relativo de cimento no aglutinante pode haver o aumento ou diminuição da capacidade de adesão, dependendo das características do substrato.

3.6.2.8 Elasticidade

A elasticidade é a capacidade da argamassa no estado endurecido de se deformar sem quebrar quando submetida a diferentes tensões e de voltar à dimensão original quando essas tensões cessam (SABBATINI 1984).

Conforme diz CINCOTTO et al. (1995), o processo de elasticidade na argamassa é o que influencia na ocorrência de patologias no revestimento, onde pode comprometer no grau de aderência da argamassa.

4 METODOLOGIA

Neste capítulo é descrito os materiais, equipamentos e métodos experimentais que foram empregados para o desenvolvimento da pesquisa.

A elaboração da pesquisa consiste em quatro etapas diferentes. Na primeira etapa consiste na descrição dos materiais e caracterização. Na segunda foi feito a dosagem dos materiais, moldagem dos corpos de provas e cura das argamassas. Na terceira etapa, analisou-se o comportamento da argamassa no estado fresco através do índice de consistência e densidade de massa e teor de ar incorporado.

Na última etapa verificou-se o comportamento da argamassa no estado endurecido através de ensaio de compressão, pela NBR 7215/2019 - Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos e o ensaio de tração na flexão e a compressão através da NBR 13279/2005: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão.

A produção das argamassas, os ensaios no estado fresco, ensaios mecânicos, de compressão, tração na flexão e a compressão foram realizados nos Laboratórios de Engenharia da Faculdade de Educação e Meio Ambiente – FAEMA.

4.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Neste tópico consiste nos materiais utilizados e suas principais caracterizações, para a elaboração da pesquisa.

4.1.1 Nanotubo de Carbono (NTC)

O nanotubo de carbono utilizado nesta pesquisa foi obtido na empresa Timesnano, localizado na China, sua classificação é de paredes múltiplas, conforme demonstra a Figura 9, com o método de fabricação deposição química a vapor ou também chamada CVD.

Figura 9 - Nanotubo de Carbono



Fonte: Próprio autor (2019).

4.1.2 Cimento

O cimento utilizado na confecção das argamassas, foi o cimento Portland composto CII Z32, NBR 16697, da marca CIPLAN. Recomenda-se para o uso geral e reforma fácil, de acordo com as recomendações do catálogo do fabricante.

4.1.2 Areia

A areia utilizada é do tipo média, por oferecer ao concreto uma resistência maior. O procedimento dos ensaios deste material, seguiram as orientações da NBR NM 248/2003: Agregados – Determinação da composição granulométrica com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1. Para o ensaio de massa específica verificou-se as recomendações da norma NBR NM 52/2009: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. A Tabela 2 detalha a composição do agregado miúdo.

Tabela 2 - Composição granulométrica, massa específica e teor de umidade

CARACTERIZAÇÃO DO AGRAGADO MIÚDO

PENEIRAS		AREIA NATURAL				% RETID A MÉDIA	% RETIDA ACUMULADA
N°	mm	m1		m2			
		PESO RETID O (g)	% RETID A	PESO RETID O (g)	% RETID A		
1/2"	12,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/8"	9,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1/4"	6,3	1,81	0,36	1,51	0,30	0,33	0,33
4	4,75	6,52	1,31	3,33	0,67	0,99	1,32
8	2,36	30,53	6,12	29,35	5,88	6,00	7,32
16	1,18	64,56	12,95	69,41	13,91	13,43	20,75
30	0,60	113,56	22,78	111,16	22,28	22,53	43,28
50	0,30	164,75	33,04	159,49	31,97	32,51	75,79
100	0,15	97,83	19,62	101,71	20,39	20,00	95,80
FUNDO	0,01	20,21	4,05	23,48	4,71	4,38	100,18
TOTAL		499,77	100,00	499,44	100,00	100,00	244,60
DIÂMETRO MÁXIMO CARAC.		0,6					
MÓDULO DE FINURA		2,45					
MASSA ESPECÍFICA (g/cm³)		1,015					
TEOR DE UMIDADE (%)		0,139					

Fonte: Próprio autor (2020).

4.1.2 Água

A água utilizada para mistura da massa do concreto foi a disponível do poço tubular profundo da faculdade FAEMA.

4.1.3 Caracterização do Nanotubo de Carbono

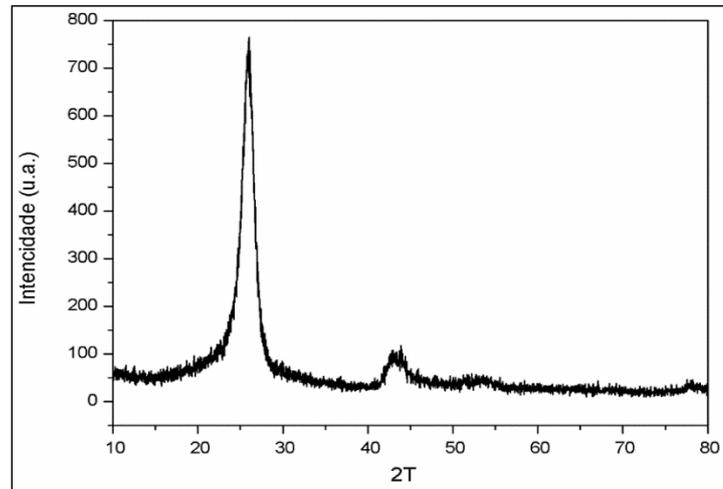
Neste tópico da pesquisa apresenta-se os ensaios de caracterização que foram realizados no nanotubo de carbono, como: difração de raios-x e análise termogravimétrica, realizado por Lemes (2016), a autora utilizou o mesmo nanotubo de carbono em sua pesquisa de dissertação de mestrado.

4.1.4 Difração de Raios-X

A utilização dessa técnica teve como objetivo verificar a cristalinidade dos nanotubo de carbono (LEMES, 2016).

Os resultados encontrados pela autora, encontram-se na Figura 10.

Figura 10 - Espectro de raios-X do Nanotubo de Carbono



Fonte: Lemes (2016).

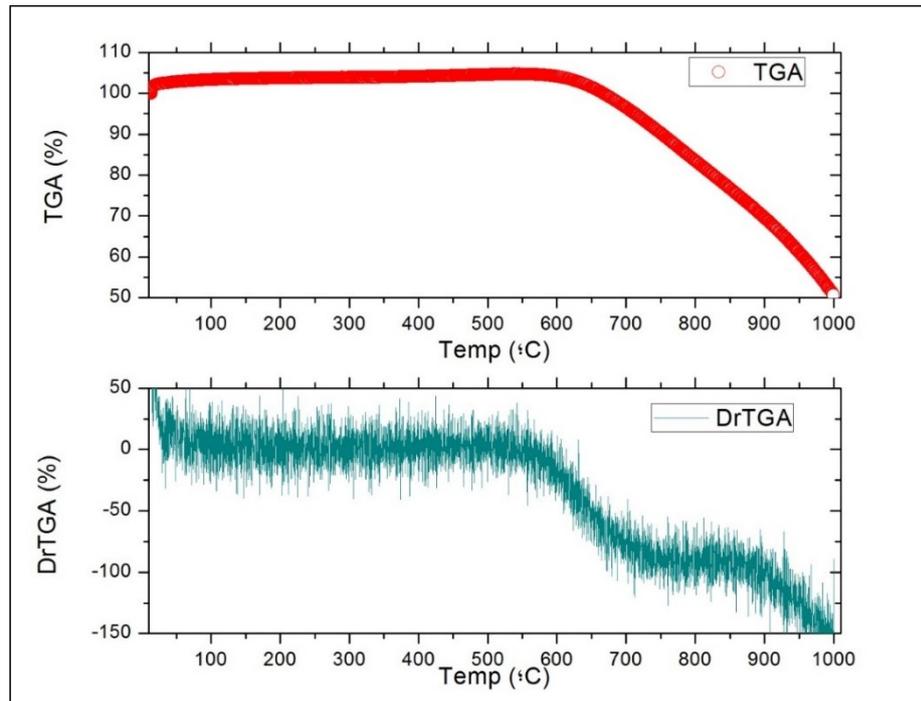
Observa-se a partir desses resultados encontrados pela autora, que o NTC estudado apresenta picos cristalinos. Picos característicos da fase carbono grafitico e também resquícios de partículas metálicas. Segundo a autora, os resultados apresentam elevado grau de pureza pois, não foi observado outros compostos.

4.1.5 Análise Termogravimétrico (TGA)

Lemes (2016), também realizou uma análise térmica nos NTC onde, pode ser observado no termograma ilustrado na Figura 11.

A autora concluiu que a amostra não possui carbono amorfo pois, a mesma apresentou alta estabilidade térmica, onde sua decomposição começa à temperatura superior a 500 °C. Indicando que o NTC possui poucos defeitos e poucas partículas metálicas, confirmando os resultados encontrados na análise de difração de Raios-X.

Figura 11 - Curva de termogravimetria (TGA) dos nanotubo de carbono



Fonte: Lemes (2016).

4.2 PROCEDIMENTO DE CONFECÇÃO DA ARGAMASSA

Para a presente pesquisa foram confeccionados e analisados 2 (duas) tipologias de argamassa, a convencional (referência) e com adição de nanotubo de carbono.

4.2.1 Dosagem da Argamassa de Cimento Portland

A dosagem da argamassa foi seguida conforme recomendações da NBR 7215/2019: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos, para permitir comparação da argamassa de cimento Portland com adição de nanotubo de carbono, onde é fixado um traço de argamassa padrão, de 1:3 (cimento: areia) e relação água/cimento de 0,50.

Melo (2012), em sua pesquisa sobre adição de nanotubo de carbono em argamassa, verificou que o teor de 0,30% de adição de NTC no concreto, foi o que apresentou melhor resistência, em todas as idades.

No estudo de Chaipanich et al (2010), concluíram na pesquisa que a adição de nanotubos de carbono aumentou a resistência de pasta cimentícia juntamente com a adição de cinzas volantes. Em sua pesquisa, foram analisados os teores de 0,5% e 1% dos NTCs em relação à massa de cimento, o segundo com 20% de cinza volante apresentando um aumento de 10% na resistência à compressão.

No estudo de Makar et, al. (2005), concluíram que com adição do NTC o tempo de duração de concretos e argamassas é maior, devido as barreiras de aderência criam no interior de toda a massa, minimizando o aparecimento de patologias que podem comprometer a construção.

Marcondes (2012), em seu trabalho obteve um resultado significativo, onde pode comprovar em seu experimento uma porcentagem maior de até 36% na resistência à compressão, com adição de 0,3% de NTC, uso de cimento Portland CP V-ARI e relação água/cimento igual a 0,55.

Desta forma, para a presente pesquisa será adotado teores de adição de NTC na argamassa inferior e igual ao teor ótimo observado por Melo (2012), utilizado no concreto teores de 0,20%, 030% em relação a massa de cimento. A seguir uma tabela demonstrativa dos traços dos materiais e as porcentagens do NTC. Na tabela 3 a seguir está a relação dos materiais e o traço fixado para a concretagem e a porcentagem de NTC utilizado.

Tabela 3 - Tabela de Nomenclatura

Nomenclatura	Cimento	Areia	NTC(%)	Água
AR (Argamassa de referência)	1	3	-	0,50
A20 (Argamassa com 0,20% de NTC)	1	3	0,20	0,50
A30 (Argamassa com 0,30% de NTC)	1	3	0,30	0,50

Fonte: Próprio autor (2020).

4.2.2 Mistura da Argamassa de Cimento Portland

A mistura da argamassa de referência seguiu de acordo com NBR 7215:2019 Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos, feito na argamassadeira automática da marca Enge totus (equipamento para laboratório de engenharia), conforme ilustra a figura 12 a seguir.

Figura 12 - Argamassadeira automática



Fonte: Próprio autor (2020).

4.2.2.1 Procedimento do preparo da argamassa de cimento Portland referência conforme a norma NBR 7215/2019: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos.

Para executar a mistura mecânica, primeiramente foi adicionado na cuba toda a quantidade de água que foi calculada para moldagem de cada corpo de prova, logo em seguida foi adicionado o cimento em proporções até a massa ir ficando homogênea, a mistura dos materiais foi feita com o misturador na velocidade baixa, durante 30 s. Após este tempo, e sem paralisar a operação de mistura, iniciou-se a colocação da areia em pequenas proporções até chegar no ponto de massa, durante o tempo de 30 s. Imediatamente após o término da colocação da areia, aumentou para a velocidade alta, misturando-se os materiais nesta velocidade durante 30 s. Após este tempo, desligou-se o misturador durante 1 min e 30 s.

Nos primeiros 15 s, retirou-se, com auxílio de uma espátula, a argamassa que ficou aderida às paredes da cuba e à pá e que não foi suficientemente misturada, colocando-a no interior da cuba. Durante o tempo restante (1 min e 15 s), a argamassa ficou em repouso na cuba, coberta com pano limpo e úmido. Imediatamente após este intervalo, ligar o misturador na velocidade alta, por mais 1 min.

4.2.2.2 Preparo da argamassa de cimento Portland com adição do NTC

O procedimento para a mistura foi o mesmo que o da argamassa de referência, com diferença da adição do (NTC). Segundo alguns autores como Marcondes (2012), Melo (2004), Lemes (2016), é necessário adicionar o NTC na massa de argamassa em forma de dispersão, para melhores resultados, não acumulando em um só ponto da massa.

Para a dispersão do nanotubo de carbono utilizou-se o equipamento de marca Ultronique, Lavadoras Ultrassônicas, ilustrada na figura 13 abaixo.

Figura 13 - Lavadora ultrassônicas



Fonte: Próprio autor (2020).

Os procedimentos de dispersão foram baseados nos estudos de Marcondes (2012). Em seu trabalho determinou o tempo de uma hora para dispersão do NTC, onde verificou em uma análise visual, que após 60 minutos, os NTC não apresentaram alterações em relação a matiz ou turbidez. Para realização da dispersão é necessário adicionar água no equipamento e diluir em pequenos béqueres o nanotubo de carbono em uma pequena quantidade da água que foi calculada para a preparação da massa. Para a realização da dispersão programou-se o aparelho em uma temperatura de 50°

aproximadamente, por 1 hora, foi calculado a porcentagem de água necessária do equipamento, e a quantidade em massa do NTC em relação a massa de cimento necessário na solução a ser dispersa, como mostra Figura 14.

Figura 14 - Dispersão do NTC



Fonte: Próprio autor (2020).

Na Figura 15 é apresentado o momento depois da realização do processo de dispersão, é possível notar que após o término da dispersão, a solução apresenta aspecto mais homogêneo.

Figura 15 - Nanotubo de carbono disperso



Fonte: Próprio autor (2020)

4.2.2 Moldagem e Cura

A moldagem dos corpos de provas cilíndricos foi realizada conforme os procedimentos recomendados na NBR 7215/2019: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Para cada tipologia de traço foram moldados 9 corpos de provas (cp's), com dimensões de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura, para ensaio de compressão simples, conforme a figura 16(a). Para moldagem dos corpos de provas prismáticos seguiu-se as recomendações conforme a NBR 13279/2005: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à compressão, sendo 9 (cp's), de 4cmx4cmx16cm de cada tipologia, para o ensaio de resistência à tração por flexão e a compressão, conforme a figura 16(b), totalizando 54 corpos de prova para os ensaios de compressão simples e tração por flexão e a compressão. A desforma dos corpos de prova foram realizados após 24 horas e colocados em imersão em tanque com água saturada em cal, para a cura até a data de rompimento.

Figura 16 - (a) Molde Cilíndrico, (b) Molde Prismáticos para Moldagem



(a)

(b)

Fonte: Próprio autor (2020)

Na tabela 4 representa a quantidade de todos os corpos de provas segundo a porcentagem a ser utilizado de NTC e o tempo de cura, assim como também os Cp's de referência para a realização do ensaio de compressão simples.

Tabela 4 - Quantidade de corpos de prova

Idades	REF	0,20%(NTC)	0,30%(NTC)
7	3	3	3
14	3	3	3
28	3	3	3

Fonte: Próprio autor (2020).

Na tabela 5 a seguir, está representado a quantidade de todos os corpos de provas, segundo a porcentagem a ser utilizado de NTC e o tempo de cura, assim como também os Cp's de referência para a realização do ensaio de Ensaio de Tração por flexão e compressão.

Tabela 5 - Quantidade de corpos de prova

Idades	REF	0,20%(NTC)	0,30%(NTC)
7	3	3	3
14	3	3	3
28	3	3	3

Fonte: Próprio autor (2020).

4.3 CARACTERIZAÇÃO DA ARGAMASSA DE CIMENTO PORTLAND NO SEU ESTADO FRESCO

4.3.1 Índice de Consistência

O ensaio para determinação do índice de consistência da argamassa foi determinado através da NBR 13276/2002: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. A Figura 17 ilustra a aparelhagem para a realização do ensaio. O ensaio consiste em verificar a influência da adição do NTC em sua trabalhabilidade.

Figura 17 - Mesa para índice de consistência e molde tronco cônico



Fonte: Próprio autor (2020).

4.3.2 Densidade de Massa e Teor de ar Incorporado

O ensaio será realizado conforme a norma NBR 13278/1995: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Esta norma estabelece o método para determinação da densidade de massa e o teor de ar incorporado em argamassa em seu estado fresco.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DA ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO.

4.3.1 Resistência à Compressão

A resistência a compressão foi determinada seguindo os procedimentos estabelecidos pela NBR 7215/2019: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Os corpos de foram rompidos nas idades 7, 14 e 28 dias.

A Figura 18, ilustra a prensa a ser utilizada para a realização do ensaio. Este ensaio foi realizado no laboratório de Engenharia da Faculdade de Educação e Meio Ambiente – FAEMA.

Figura 18 - Prensa para ensaio de compressão



Fonte: Própria do autor (2020).

Decidiu-se realizar este ensaio para confrontar os resultados entre as duas normas, ou seja, entre a norma NBR 7215/1996 e a norma NBR 13279/2005.

4.4.1 Resistência à Tração na Flexão e a Compressão

A análise de resistência a tração na flexão foi realizada conforme as recomendações da NBR 13279/2005: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Para a realização do ensaio foi utilizado 3 (três) cp's para cada traço e rompidos nas idades de 7, 14 e 28 dias, na Figura 19 (a) ilustra o ensaio de tração na flexão. Após o ensaio de tração na flexão foi realizado o ensaio de compressão, para isso, foram utilizados as duas metades dos corpos de prova do ensaio de tração na flexão, conforme a figura 19 (b).

Após serem determinadas as resistências à tração na flexão de todos os corpos de provas, passa-se a determinação da resistência à compressão, para isso, foram utilizadas as duas metades dos corpos de prova do ensaio de tração na flexão.

Figura 19 - (a) Ensaio tração na flexão; (b) Ensaio compressão



(a)

(b)

Fonte: próprio autor (2020).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico é apresentado através de gráficos e tabelas, a relação de todos os resultados obtidos através dos ensaios laboratoriais realizados, no estado fresco e endurecidos das argamassas de cimento Portland, junto a argamassas adicionado nanotubo de carbono, conforme cada ensaio.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO SEU ESTADO FRESCO

Nesta etapa foi realizado a caracterização da argamassa no seu estado fresco, através das normas NBR 13276/2002, que determina o índice de consistência, NBR 13278/1995 que determina a densidade de massa e do teor de ar incorporado da argamassa.

5.2 Índice de Consistência

A tabela 10 apresenta os resultados obtidos do índice de consistência realizado a cada traço de argamassa, o objetivo deste ensaio foi verificar a influência da adição de NTC nas argamassas quanto a sua trabalhabilidade.

Tabela 6 - Índice de consistência das argamassa

Traços	Relação a/c	Índice de consistência (mm)
AR cilíndrico REF	0,50	179
AR cilíndrico 0,20%	0,50	174
AR cilíndrico 0,30%	0,50	157

Fonte: Próprio autor (2020)

Observa-se que quanto maior a quantidade de material finos, menor é a consistência da massa, assim comprometendo sua trabalhabilidade, como pode ser observado na figura 23. Todos os traços de argamassa foram confeccionados com a relação a/c de 0,50. Este valor foi fixado para verificar a influência do NTC nas propriedades da argamassa.

Figura 20 - (a) argamassa referência; (b) argamassa com NTC



(a)

(b)

Fonte: Próprio Autor (2020).

5.3 Densidade de Massa e Teor de ar Incorporado

Na tabela 7, está expresso os resultados obtidos nos ensaios de densidade de massa e teor de ar incorporado.

Tabela 7 - Densidade de massa e teor de ar incorporado

Argamassas	Densidade de massa (g/cm ³)	Teor de ar incorporado (%)
AR cilíndrico REF	1,37	18,62
AR cilíndrico 0,20%	1,30	19,43
AR cilíndrico 0,30%	1,27	19,79

Fonte: Próprio autor (2020)

Ao analisar os resultados da tabela 7, verifica-se que há uma diminuição na densidade de massa e um aumento no teor de ar incorporado, conforme se adiciona nanotubo de carbono, devido o material ser fino, assim preenchendo os espaços vazios da massa. Quanto maior a quantidade de material, maior será o teor de ar incorporado. Na tabela 8, apresenta a classificação das argamassas de acordo com a NBR 13278/2005, onde pode classificar tanto a argamassa de referência quanto as argamassas com NTC como sendo de classe M1, onde se enquadra em uma classificação recomendável para se trabalhar.

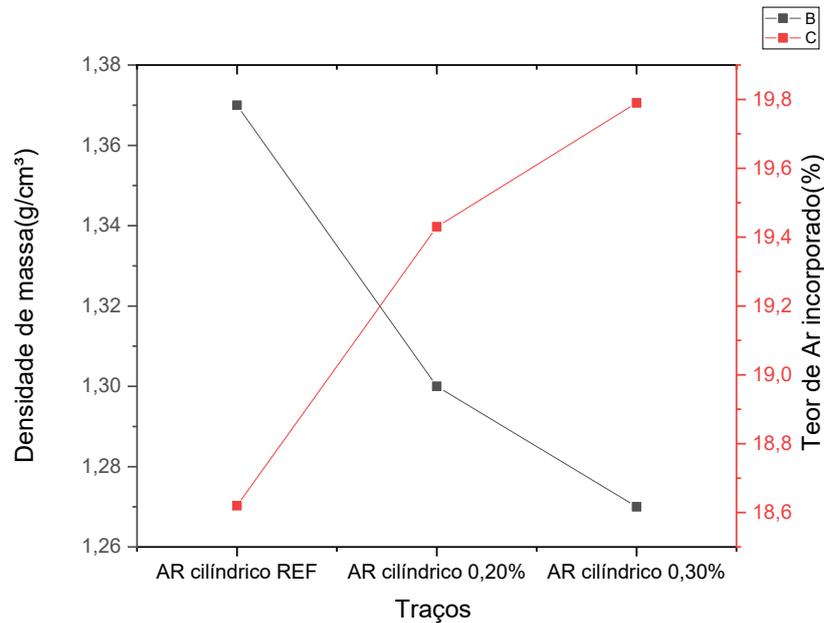
Tabela 8 - Classificação das argamassas em função da densidade de massa no estado fresco

Classe	Densidade de massa no estado fresco (Kg/m ³)	Método de Ensaio
M1	≤ 1400	ABNT NBR 13278:2005
M2	1200 a 1600	
M3	1400 a 1800	
M4	1600 a 2000	
M5	1800 a 2200	
M6	> 2000	

Fonte: NBR 13281 (ABNT, 2005).

Na figura 21 está a representação dos resultados de densidade de massa versus teor de ar incorporado, onde se confirma que existe uma relação inversamente proporcional entre essas propriedades.

Figura 21 - Densidade de massa X Teor de Ar Incorporado



Fonte: Própria Autor (2020).

5.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS EM SEU ESTADO ENDURECIDO

Neste tópico estão apresentados os resultados obtidos dos ensaios mecânicos de compressão das argamassas em formato cilíndricos e resistência à tração na flexão e compressão dos corpos de provas prismáticos, respectivamente em suas idades de 7,14,28 dias de cura, sendo os de referência, e com as porcentagens 0,20% e 0,30%.

5.1.1 Resistência a compressão – NBR 7215/2019

Nesta tabela 9 foi calculado a média dos três corpos de provas ensaiados em cada idade respectivamente e feito o arredondamento para o próximo decimal inteiro.

Tabela 9 - Resistência média a Compressão (Cilíndrico)

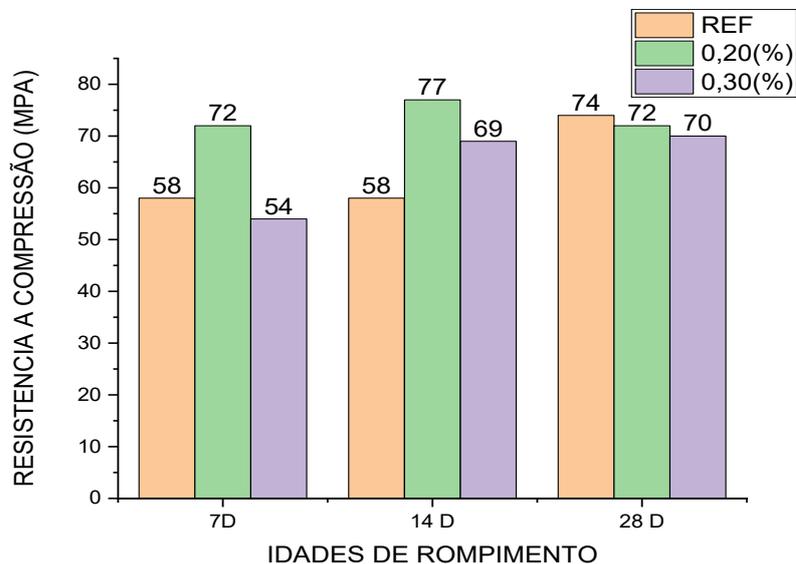
CP CILINDRICO REF	CP CILINDRICO 0,20%	CP CILINDRICO 0,30%
RESISTENCIA MÉDIA - 7D	RESISTENCIA MÉDIA - 7D	RESISTENCIA MÉDIA -7D
58 MPa	72 MPa	54 MPa

RESISTENCIA MÉDIA - 14 D	RESISTENCIA MÉDIA - 14 D	RESISTENCIA MÉDIA - 14 D
58 MPa	77 MPa	69 MPa
RESISTENCIA MÉDIA - 28 D	RESISTENCIA MÉDIA - 28 D	RESISTENCIA MÉDIA - 28 D
74 MPa	72 MPa	70 MPa

Fonte: Próprio autor (2020).

Na Figura 22 está a ilustração dos resultados encontrados na realização do ensaio de compressão, para uma melhor visualização.

Figura 22 - Resistencia média a compressão (cilíndrico)



Fonte: Próprio autor (2020)

Nota-se que as argamassas com adição de nanotubo de carbono teve um aumento significativo em relação as de referência, com adição de 0,20% de NTC aos 7 e 14 dias, onde aos 14 dias foi a que teve maior resistência de 77 MPa, mas aos 28 dias teve um decréscimo, isso pode ter ocorrido, devido a dispersão do NTC ter sido insuficiente para que se tenha distribuído de forma homogênea por toda a massa. Observa-se que com 0,30% de NTC houve um acréscimo na resistência em todas as idades, onde aos 7 dias obteve-se uma resistência de 54 MPa , aos 14 dias já houve um grande aumento para 69 MPa e aos 28 dias de cura 70 Mpa mas, nas idade de 7 e 28 dias obtiveram resistência menores que a de referência.

No trabalho Henche (2013), obteve-se um aumento de resistência a compressão maior aos 7 dias de cura, com a porcentagem de 0,10% de nanotubo de

carbono em relação à massa do cimento. Segundo o autor a diferença dos resultados foram poucas entre as porcentagens de 0,10% e 0,20% de NTC, ainda segundo o autor houve uma queda na resistência mecânica na porcentagem de 0,30%, afirmando que seja devido a dificuldades no procedimento de moldagem e adensamento do concreto nos moldes metálicos.

No trabalho realizado por Medeiros et. Al (2015), para os resultados dos ensaios de resistência à compressão de argamassas com adição de NTCs, observou-se que, em relação à série de referência, houve um aumento da resistência à compressão em praticamente todas as análises. O traço com teor de 0,5% de NTC foi o que indicou resistência aparentemente semelhante ao traço de referência e a razão para essa ocorrência se deve ao fato de que este nível de adição de NTC comprometeu a fluidez para dificultar sua densificação dos corpos de prova. O teor de 0,40% de NTC foi o que mais aumentou a resistência à compressão, representando um aumento de 27% em relação à série sem adição de NTC. Essa tendência de aumento da resistência à compressão com a incorporação de NTC está em consonância com outros estudos, como os de e Marcondes (2012), Melo (2012), Chaipanich et al (2010), Makar et al (2005).

5.1.2 Análise de Variância

Na tabela 14 apresenta análise estatística dos resultados obtidos do ensaio de compressão, onde pode-se observar que não houve diferença significativa na inclusão dos nanotubo na argamassa.

Tabela 14 - Análise de Variância para Compressão – NBR 13279/05

QUADRO DE ANÁLISE					
FV	GL	SQ	QM		F
Tratamentos	2	194.88889	97.44444	1.6801 ns	0.2634
Resíduo	6	348.00000	58.00000		
Total	8	542.88889			
** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)					
* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)					
ns não significativo ($p \geq .05$)					
GL	GLR	F-crit	F	p	
2	6	5.1433	1.1221	0.3855	
Onde: SQ=soma dos quadrados; GL=graus de liberdade; MQ=Médias quadradas					

Fonte: Próprio autor (2020).

5.2 Resistência à tração na flexão (Prismático) – NBR 13279/2005

Na tabela 10 estão expressos os resultados médios de resistência a tração na flexão de cada traço, com rompimento nas idades de 7,14,28 dias, para as argamassas de referência e com adição de nanotubo de carbono nas porcentagens de 0,20% e 0,30%.

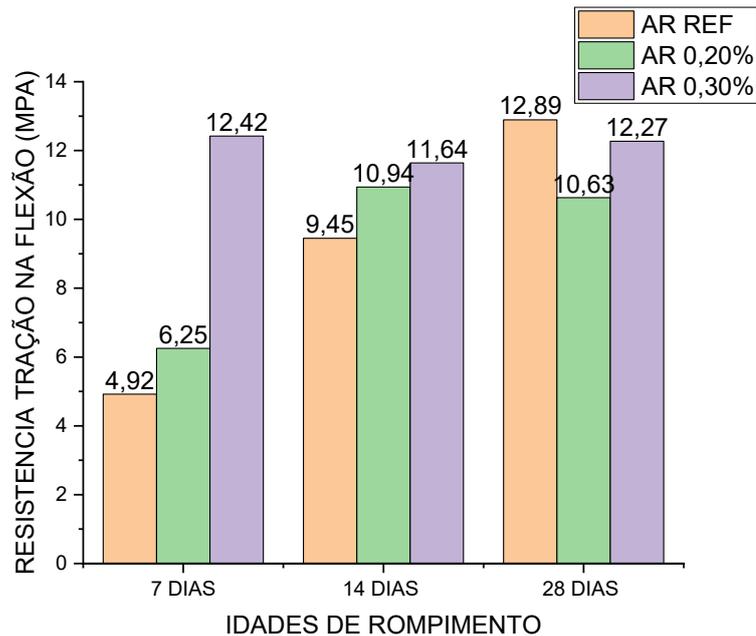
Tabela 10 - Resistencia média a tração na flexão (prismático)

CP CILINDRICO REF	CP CILINDRICO 0,20%	CP CILINDRICO 0,30%
RESISTENCIA MÉDIA - 7D	RESISTENCIA MÉDIA - 7D	RESISTENCIA MÉDIA - 7D
4,92	6,25	12,42
RESISTENCIA MÉDIA - 14 D	RESISTENCIA MÉDIA - 14 D	RESISTENCIA MÉDIA - 14 D
9,45	10,94	11,64
RESISTENCIA MÉDIA - 28 D	RESISTENCIA MÉDIA - 28 D	RESISTENCIA MÉDIA - 28 D
12,89	10,63	12,27

Fonte: Próprio autor (2020).

A Figura 23, faz a ilustração de todos os resultados obtidos da resistência a tração na flexão, facilitando na leitura dos resultados e sendo possível analisar qual traço obteve melhor desempenho.

Figura 23 - Resistência média tração na flexão (prismático)



Fonte: Próprio Autor (2020)

Por meio de análise da Figura 23, pode-se observar que os resultados não foram tanto como esperado, nota-se que houve um aumento de resistência com a porcentagem de 0,20% na idade de 14 dias, porém, uma resistência menor aos 28 dias de cura. Para argamassa com porcentagem de 0,30% houve um aumento significativo aos 7 dias em relação as argamassas de referência e a de 20%, mas, aos 28 dias de cura houve um decréscimo na resistência. Isso pode ter ocorrido devido a erro na preparação da argamassa, o que influencia muito na sua resistência, o adensamento correto pode ser outra causa e também tempo de dispersão do nanotubo que pode ter sido insuficiente, para que o mesmo pudesse se espalhar pela massa toda.

LI, G. Y et. al (2005), obteve em seus resultados de resistência à tração na flexão da argamassa com NTCPM uma porcentagem 12% maior que a obtida na argamassa industrializada. Considerando que esta diferença em comparação estudos de outros autores é pequena onde em alguns casos atingiram cerca de 25% de ganhos. Essa diferença de percentual ocorre devido os NTCPM possuírem características diferentes como o comprimento e o diâmetro.

Conforme Melo (2003), o tamanho dos NTCPM na argamassa influencia no aumento da resistência à tração na flexão, pois quanto maior for o comprimento dos nanotubo, maiores serão a influência do material com a matriz de cimento, fazendo

com que a massa cimentícia possua uma resistência mecânica maior, este processo é semelhante a um micro armadura inserida no compósito, aumentando, portanto, a tenacidade na fratura.

De acordo com Schneider (2018), em seu estudo as argamassas com adição de NTCs apresentaram ganhos de resistência à tração na flexão relação à argamassa de referência (AR). Onde a argamassa AN30, com 30% de NTC, demonstrou o maior ganho de resistência à tração na flexão, cerca de 57,04%, seguida pela AN20, com 20% de NTC com 56,43% e por último a AN40, com 40% de NTC, com 50,45%, aos 28 dias de cura.

5.2.1 Análise de Variância

Na tabela 11 apresenta análise estatística dos resultados obtidos do ensaio de compressão, onde pode-se observar que não houve diferença significativa na inclusão dos nanotubo na argamassa.

Tabela 11 - Análise de Variância para Compressão – NBR 13279/05

QUADRO DE ANÁLISE				
FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	2	17.21603	8.60802	1.1221 ns
Resíduo		6	46.02868	7.67145
Total		8	63.24471	
** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)				
* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)				
ns não significativo ($p \geq .05$)				
GL	GLR	F-crit	F	p
2	6	5.1433	1.1221	0.3855
Onde: SQ=soma dos quadrados; GL=graus de liberdade; MQ=Médias quadradas				

Fonte: Próprio autor (2020).

5.2 Resistência à compressão (Prismático) – NBR 13279/2005

Na tabela 12 está a representação da média dos resultados obtidos para ensaio de compressão, com rompimentos nas idades 7,14,28 dias, para argamassa de referência e as com adição de nanotubo de carbono nas porcentagens de 0,20% e 0,30%, sendo que foi utilizado as duas partes que foram rompidas por tração na flexão, conforme solicitado em norma.

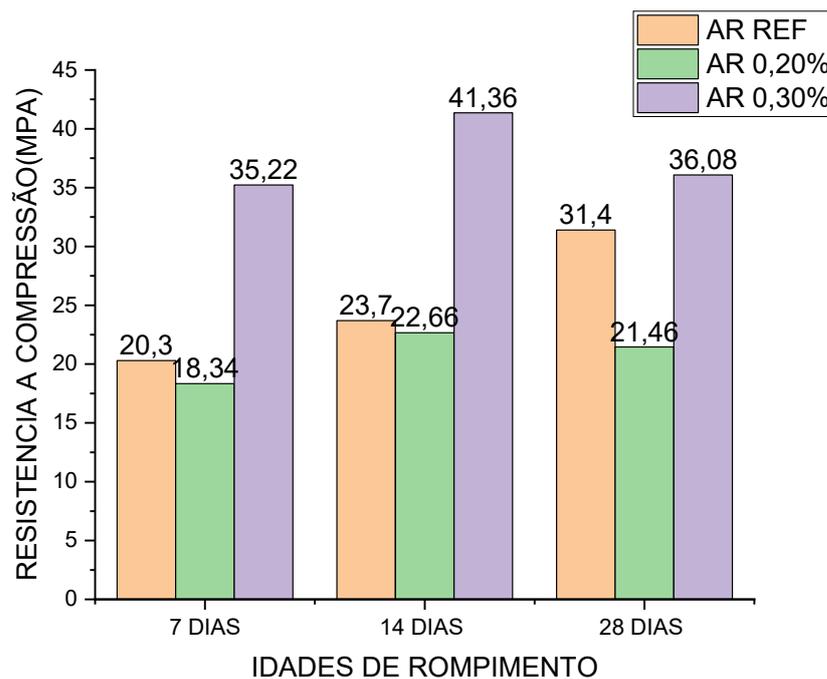
Tabela 12 - Resistencia média a compressão (prismático)

CP PRISMÁTICO REF	CP PRISMÁTICO 0,20%	CP PRISMÁTICO 0,30%
RESISTENCIA MÉDIA - 7D	RESISTENCIA MÉDIA - 7D	RESISTENCIA MÉDIA - 7D
20,30	18,34	35,22
RESISTENCIA MÉDIA - 14 D	RESISTENCIA MÉDIA - 14 D	RESISTENCIA MÉDIA - 14 D
23,70	22,66	41,36
RESISTENCIA MÉDIA - 28 D	RESISTENCIA MÉDIA - 28 D	RESISTENCIA MÉDIA - 28 D
31,40	21,46	36,08

Fonte: Próprio autor (2020).

A figura 24, ilustra todos os resultados obtidos da resistência a compressão das argamassas, facilitando a leitura dos resultados.

Figura 24 - Resistência média compressão (prismático)



Fonte: Próprio autor (2020).

Ao analisar a resistência à compressão das argamassas é possível notar que, a resistência da amostra com adição de 0,30% de nanotubo de carbono obteve resistência superior a argamassa de referência em todas as idades, tendo um acréscimo de 14,90% aos 28 dias em relação a argamassa de referência. Já argamassa com 0,20% de nanotubo apresentou resistência inferior em todas as

idades comparada a argamassa de referência. Melo (2009) em seu estudo, obteve resistência maior para a amostra de CN30, em torno de 12%, o autor relata que quando a dispersão é bem realizada, o nanotubo se mistura a pasta de forma homogênea assim, não ocorrendo aglomerações pontuais, fato este, que contribui para obtenção de um material mais resistente.

5.2.1 Análise de Variância

Na tabela 13 está expresso uma análise estatística dos resultados obtidos do ensaio de resistência à compressão.

Tabela 13 - Análise de Variância para Compressão – NBR 13279/05

QUADRO DE ANÁLISE				
FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	2	453.04112	226.52056	14.0597 **
Resíduo		6	96.66815	16.11136
Total		8	549.70927	
** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)				
* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)				
ns não significativo ($p \geq .05$)				
GL	GLR	F-crit	F	p
2	6	10.9248	14.0597	0.0054
Onde: SQ=soma dos quadrados; GL=graus de liberdade; MQ=Médias quadradas				

Fonte: Próprio autor (2020).

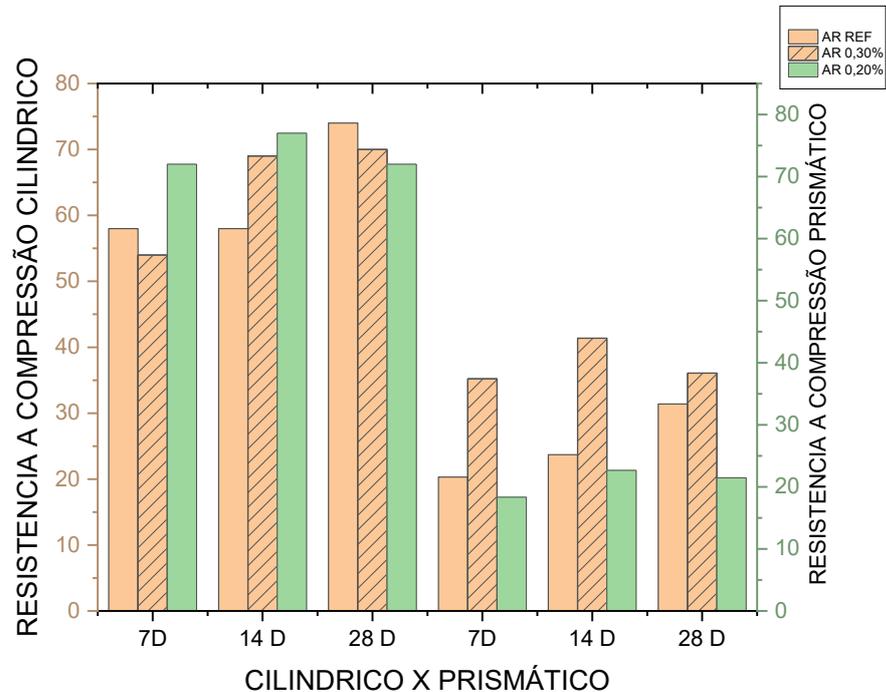
De acordo com a análise estatística realizada para o ensaio, pode-se observar que houve diferença significativa entre as amostras estudadas, esta hipótese foi testada com nível de confiabilidade de 99%, ou seja, existe apenas 1% de probabilidade de erro.

5.2.2 Resistência a compressão cilíndrica x Resistência a compressão prismática

Vale lembrar que foram realizados 2 ensaios para determinar a resistência a compressão, tendo como base as normas NBR 7215/1996, para corpos de prova cilíndrico (5cmX10cm) e NBR 13279/2005, para corpos de prova prismáticos (4cmX4cmX16cm). Nota-se, na figura 24, que a resistência a compressão das

argamassas cilíndricas possui uma resistência maior em comparação as prismáticas, essa diferença está relacionada com formato, dimensão e forma dos corpos de prova.

Figura 24 - Comparação da resistência a compressão entre corpo de prova cilíndrico e prismático



Fonte: próprio autor (2020).

Segundo Cupertino et. al, (2007) e Kaish et. al, (2015), os corpos de provas que possuem uma relação de base e altura maior, possuem uma resistência maior. Fato esse, que foi comprovado neste estudo pois, os resultados dos corpos de prova cilíndricos resultaram em valores superiores aos prismáticos onde obteve um aumento de aproximadamente 38%.

6 CONCLUSÃO

Conclui-se que o nanotubo de carbono, influência de maneira significativa, como um material que aumenta a resistência das argamassas, como muitos trabalhos citados que obtiveram resultados que chamaram a atenção de cientistas para mais estudos deste material.

Em relação ao índice de consistência, pode-se observar que os NTC influenciam na reologia das argamassas, diminuindo o abatimento. Indicando que as argamassas com nanotubo, deve-se utilizar aditivos superplastificantes para evitar o aumento de água.

Neste presente trabalho, ao realizar os ensaios mecânicos, pode-se notar que no ensaio de resistência a compressão simples dos corpos de prova cilíndricos, o traço que obteve melhor resultado foi o com adição de NTC foi 0,20% aos 14 dias de cura. O traço com 0,30% obteve um aumento em relação as idades estudadas, porém, a resistência foi menor em relação ao de referência, e de acordo com a análise estatística não houve diferença significativa.

Na resistência tração por flexão prismático, o traço com melhor comportamento foi com adição de 0,30% de NTC em comparação aos 3 traços ensaiados. Porém, não obteve uma diferença significativa, onde uma das hipóteses levantadas para o ocorrido é de que o nanotubo de carbono pode não ser sido disperso de maneira suficiente, formando zonas fracas que facilitam a ruptura do material.

Analisando os resultados da resistência a compressão das argamassas prismática, o traço que apresentou maior resistência foi o com 0,30% de nanotubo de carbono, com aumento de aproximadamente 14,90%, o que comprova que o material pode aumentar a resistência das argamassas.

O nanotubo de carbono pode trazer muitos benefícios para a área da engenharia, pois o que mais ocorre são problemas relacionados a falta de resistência dos materiais, como trincas, rachaduras, até problemas maiores como desabamento da construção. Nota-se que há uma grande necessidade do aprimoramento dos materiais mais utilizados nas construções, e o nanotubo já faz parte de estudos para que isso venha ocorrer. Mas o grande problema está, que o nanotubo possui um alto custo benefício, o que faz com que isso demore um pouco, para que este material faça parte totalmente da indústria cimentícia.

Para tanto, deve-se fazer uma investigação mais específica para o uso de nanotubo de carbono em compósitos cimentícios. Isto se faz necessário para ampliar o campo de utilização dos nanotubos. Cabe lembrar que estas conclusões são derivadas da análise dos resultados deste trabalho sendo necessário serem confirmadas e avaliadas por estudos adicionais.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Analisar outras maneiras de dispersão do Nanotubo de carbono;
- Analisar outros tempos e temperatura para realizar a dispersão do NTC;
- Estudar outras porcentagens de adição de NTC;
- Analisar o comportamento mecânico com a adição de outros materiais como: sílicas, borracha, fibra de vidro entre outros;
- Analisar o comportamento mecânico com outros tipos de cimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDREWS, R.; JAQUES, D.; RAO, A. M. DERBYSHIRE, F.; QIAN, D.; FAN, X.; DICKEY, E. C.; CHEN, J. **Continuous production of aligned carbon nanotubes: a step closer to commercial realization.** *Chemical Physics Letters*, Vol. 303, 467-474, 1999.
- BATISTON, ER, HAMPINELLI, D., OLIVEIRA, RC, GLEIZE, PJP (2010), **Funcionalização e efeito da incorporação de tubos nano cinéticos da hidráulica em matrizes alimentares em: Congresso Brasileiro do Concreto**, 52. Ibracon, Fortaleza (Brasil), pp. 1-12.
- CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CASCUDO, H. C. **Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995. Boletim Técnico n. 68.
- COUTO, G. G. **Nano partículas de níquel: síntese, caracterização, propriedades e estudo de sua utilização como catalisadores na obtenção de nano tubos de carbono.** f. 127. Dissertação (Mestrado em Química) – Departamento de Química, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.
- COELHO, A.V. ROCHA, P. LUDVIG, I. D. COELHO, R. C. ANDRADE. **Dispersão de nanotubos de carbono em sílica ativa em meio não aquoso de isopropanol para preparação e caracterização de pasta de cimento.** Foz do Iguaçu, 2018.
- CHAIPANICH, A., NOCHAIYA, T., WONGKEO, W., et al., **“Compressive strength and microsture of carbon nanotubes-fly ash cement composites”**, *Materials Science and Engeneering: A*, v. 527, n. 4-5, pp. 1063-1067, 2010.
- CUPERTINO, A. L. L.; CASTRO, A.; INÁCIO, J. J.; ANDRADE, M. A. S. **Avaliação de fatores de ensaio que interferem nos resultados de módulo de elasticidade do concreto.** In: 49º Congresso Brasileiro do Concreto. Bento Gonçalves, 2007.
- DRESSELHAUS G, DRESSELHAUS M, AVOURIS P. **Carbon nanotubes: Synthesis, structure, properties and applications.** Springer-Verlag 2001, Berlin.
- DYKE, C. A.; TOUR, J. M. **Covalent functionalization of single-walled carbon nanotubes for materials applications.** *Journal of Physical Chemistry A*, v. 108, n. 51, p. 11151- 11159, 2004.
- HERBST, Marcelo Hawrylak; MACÊDO, Maria Iaponeide Fernandes; ROCCO, Ana Maria. **Tecnologia dos nanotubos de carbono: tendências e perspectivas de uma área multidisciplinar.** *Química Nova*, v. 27, n. 6, p. 986-992, 2004.
- HELENE, Paulo R. Do Lago. **Manual de reparo, proteção e reforço de estruturas de concreto.** São Paulo, Red Rehabilitar, 2003.
- HENCHE, Diego. **Composto Cimentício de alta resistência com adição de nanotubos de carbono.** 2013.

FERREIRA, O. P. **Nanotubos de carbono: preparação e caracterização**. 2003. 36f. Monografia apresentada ao instituto de química da Unicamp, Campinas, 2003.

GOU, T.; NIKOLAEV, P.; THESS, A.; COLBERT, D. T.; SMALLEY, R. E. **Catalytic growth of single-walled nanotubes by laser vaporization**. *Chemical Physics Letters*, Vol. 74 243, 49-54, 1995.

IJIMA S., “**Carbon nanotubes: past, present, and future**”, *Phys B.*, 2002.

LEMES, S.P.S. **Caracterização do comportamento mecânico e térmico de argamassas de cimento Portland com adição de nanotubo de carbono**. Programa De Pós-Graduação em Engenharia. Universidade Federal Do Pampa. Alegrete, 2016.

MARCONDES, C. G. N. **Adição de nanotubos de carbono em concretos de cimento Portland – Absorção, permeabilidade, penetração de cloretos e propriedades mecânicas**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

MAKAR, J., MARGESON, J., LUH, J., “**Carbon nanotube /cement composites - early results and potential applications**”, In: **3º International Conference on Construction Materials: Performance, Innovations and Structural Implications**, pp. 1-10, Vancouver, 2005.

MELO, Valquíria Silva - **Nanotecnologia aplicada ao concreto: efeito da mistura física de nanotubos de carbono em matrizes de cimento portland**, Dissertação de Mestrado, UFMG, 2009.

MELO, C. P.; PIMENTA, M. **Nanociências e nanotecnologia. Parcerias Estratégicas**, v.18, p. 9-22, 2004.

MELO, V.S., **Nanotecnologia aplicada ao concreto: efeito da mistura física de nanotubos de carbono em matrizes de cimento Portland**. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

MEDEIROS, Marcelo Henrique Farias de et al. **Compósitos de cimento Portland com adição de nanotubos de carbono (NTC): Propriedades no estado fresco e resistência à compressão**. *Matéria (Rio de Janeiro)*, v. 20, n. 1, p. 127-144, 2015.

MORAIS, J.F., **aplicações da nanotecnologia na indústria da construção: Análise Experimental em Produtos Cimentícios com Nanotubos de Carbono**, Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal Fluminense, Niteroi, 2012.

NIYOGI, S.; HAMON, M. A.; HU, H.; ZHAO, B.; BHOWMIK, P.; SEN, R.; ITKIS, M. E.; HADDON, R. C. **Chemistry of single-walled carbon nanotubes**. *Accounts of Chemical Research*, v. 35, n. 12, p. 1105-1113, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7215. **Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 13279: **Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e a compressão**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7215. **Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 13278: **Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado**. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 13276: **Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência**. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7200 - **Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassa inorgânica - Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

POOLE, C. P. Jr., OWENS, F. J., **Introduction to nanotechnology, Willey – Interscience**, 2003.

RAO, C. N. R; SATISHKUMAR, B. C; GOVINDARAJ, A; NATH, M. **Nanotubes. Chemphyschem**, Vol. 2, 78-105, 2001.

REYHANI, A.; MORTAZAVI, S. Z.; AKHAVAN, O.; MOSHFEGH, A. Z.; LAHOOTI, S. **Effect of Ni, Pd and Ni-Pd nano-islands on morphology and structure of multi-wall carbon nanotubes**. Applied Surface Science, Vol. 253, 8458-8462, 2007.

SABBATINI, F. H. O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural sílicocalcária. São Paulo. 1984. 298 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

SEIXAS, A.L.D.R. **Purificação de nanotubos de carbono**. Centro universitário franciscano pró-reitoria de pós-graduação, pesquisa e extensão área de ciências tecnológicas Curso de Mestrado em Nanociências. Santa Maria, 2010.

SCHNEIDER, Tais Vicenzi. **Estudo das propriedades físicas e mecânicas de argamassas reforçadas com nanotubos de carbono**. 2018.

RIBEIRO, A.T. **A influência da adição de nanotubo de carbono nos compósitos de cimento Portland**. 2017

TOMA, Henrique E., “**O mundo nanométrico: a dimensão do novo século**”, Oficina de textos, Brasil, pág. 13, 2004.

UCHIDA, T.; KUMAR, S. **Single wall carbon nanotube dispersion and exfoliation in polymers**. Journal of Applied Polymer Science, v. 98, p. 985-989, 2005.

XIE, X.-L.; MAI, Y.-W.; ZHOU, X.-P. **Dispersion and alignment of carbon nanotubes in polymer matrix: A review**. Materials Science and Engineering R: Reports, v. 49, p. 89- 112, 2005.

YANG, D. J.; WANG, S. G.; ZHANG, Q.; SELLIN, P. J.; CHEN, G.; **PHYS. LETT. A** 2004, 329, 207. M. F.; Lourie, O.; Dyer, M. J.; Kelly, T. F.; Ruoff, R. S.; Science.

WANG, S. G.; ZHANG, Q.; SELLIN, P. J.; **CHEN, G.; PHYS. LETT. A** 2004, 329, 207.

WANG, Y.; GAO, L.; SUN, J.; LIU, Y. Q.; ZHENG, S.; KAJIURA, H. **An integrated route for purification, cutting and dispersion of single-walled carbon nanotubes**. Chem Phys Lett; 432(1-3):205–8, 2006.

ZARBIN, A. J. G. **Química de nano materiais**. Quim. Nova, São Paulo, v. 30, n. 6, p. 1469-1479, 2007.

KAISH, A. B. M. A.; JAMIL, M.; RAMAN, S. N.; ZAIN, M. F. M. **Axial behavior of ferrocement confined cylindrical concrete specimens with different sizes**. Construction and Building Materials. Vol. 78, pp.50-59. 2015.

KNUTH, Rogerio Daltro et al. **Reforço em compósito de cimento portland através da adição nanotubos de carbono de paredes múltiplas**. Tecno-Lógica, v. 20, n. 2, p. 139-143, 2016.

APÊNDICE

IMAGEM 1



Fonte: Próprio autor (2020)

IMAGEM 2



Fonte: Próprio autor (2020)

IMAGEM 3



Fonte: Próprio autor (2020)

IMAGEM 4



Fonte: Próprio autor (2020)

IMAGEM 5

Fonte: Próprio autor (2020)

IMAGEM 6

Fonte: Próprio autor (2020)



RELATÓRIO DE VERIFICAÇÃO DE PLÁGIO

DISCENTES: Simoní Barros da Silva

CURSO: Engenharia Civil

DATA DE ANÁLISE: 19.11.2020

RESULTADO DA ANÁLISE

Estatísticas

Suspeitas na Internet: **9,27%**

Percentual do texto com expressões localizadas na internet ⚠

Suspeitas confirmadas: **6,75%**

Confirmada existência dos trechos suspeitos nos endereços encontrados ⚠

Texto analisado: **82,75%**

Percentual do texto efetivamente analisado (frases curtas, caracteres especiais, texto quebrado não são analisados).

Sucesso da análise: **100%**

Percentual das pesquisas com sucesso, indica a qualidade da análise, quanto maior, melhor.

Analisado por Plagius - Detector de Plágio 2.4.11
quinta-feira, 19 de novembro de 2020 17:18

PARECER FINAL

Declaro para devidos fins, que o trabalho da discente **SIMONÍ BARROS DA SILVA**, n. de matrícula **30122**, do curso de Engenharia Civil, foi **APROVADO** na verificação de plágio, com porcentagem conferida em 9,27%. Devendo a aluna fazer as correções que se fizerem necessárias.

(assinado eletronicamente)
HERTA MARIA DE AÇUCENA DO N. SOEIRO
Bibliotecária CRB 1114/11
Biblioteca Júlio Bordignon
Faculdade de Educação e Meio Ambiente