

Concreto leve com argila expandida e adição de fibra de aço

Lightweight concrete with expanded clay with added steel fibers

Luis Felipe Simonetti

Acadêmico de Engenharia Civil, UDC, Medianeira – PR, Brasil

Michel Fernando Albertim

Engenharia Civil, UDC, Medianeira – PR, Brasil

DOI: 10.47573/aya.5379.2.86.04

RESUMO

A construção civil está sempre em processo de melhoria, seja com a criação de novos materiais, com o desenvolvimento de novas técnicas ou a implementação tecnológica. O uso de argila expandida é uma solução satisfatória para a confecção de concreto leve, pois, sua massa específica sofre redução considerável se comparada ao concreto convencional. Outra solução, é o uso de fibras de aço, que traz melhorias na resistência a flexão, retração do concreto entre outras, melhorando sua durabilidade e resistência. A partir disso, foram avaliados três traços de concreto leve com adição de fibras de aço, nos valores de 0,75%, 1% e 1,25% e comparados ao traço de referência, sem fibras, fornecido pela CINEXPAN, para um concreto leve com trinta megapascal de resistência. Os resultados obtidos mostraram um ganho de 19% para a resistência a compressão e uma boa relação com o módulo de elasticidade para o teor de 0,75% de adição, se mostrando o traço mais favorável além de massa específica abaixo dos 1800 kg/m³ para todos os traços. Para a resistência a flexão, as fibras não trouxeram ganho de resistência devido a fragilidade do agregado.

Palavras-chave: argila expandida. fibras metálicas. concreto leve.

ABSTRACT

Civil construction is always in the process of improvement, whether with the creation of new materials, the development of new techniques or technological implementation. The use of expanded clay is a satisfactory solution for the manufacture of lightweight concrete, since its specific mass is considerably reduced compared to conventional concrete. Another solution is the use of steel fibers, which improves flexural strength and concrete shrinkage, among others, improving its durability and strength. From this, three mixes of lightweight concrete with the addition of steel fibers were evaluated, in the values of 0.75%, 1% and 1.25% and compared to the reference mix, without fibers, provided by CINEXPAN, for a concrete lightweight with thirty megapascals of resistance. The results obtained showed a gain of 19% for the compressive strength and a good relationship with the modulus of elasticity for the content of 0.75% of addition, showing the most favorable trait in addition to specific mass below 1800 kg/m³ for all traits. For the flexural strength, the fibers did not bring strength gain due to the fragility of the aggregate.

Keywords: expanded clay. metallic fibers. light concrete.

INTRODUÇÃO

Desde o seu surgimento até o início da década de 80, o concreto convencional permaneceu sendo uma mistura de agregados (miúdos e graúdos), cimento e água, sem maiores inovações que alterassem de forma significativa seu desempenho (ANGELIN, 2014, apud, PEREIRA 2008, BORJA 2011).

Porém nos últimos anos ocorreram grandes mudanças tecnológicas, devido a evolução de técnicas, novos estudos e materiais e novos equipamentos que possibilitem esses trabalhos (ANGELIN, 2014).

Os concretos com agregados leves têm sido utilizados desde o início século passado

para fins estruturais e de vedação, com excelente resultado. A partir de 1980 houve rigorosas pesquisas sobre concretos leves em todo o mundo demonstrando grande potencial de uso desse material nas mais diversas áreas da construção civil (ROSSIGNOLO, 2003).

E apesar do custo mais elevado, a redução da massa específica gera a diminuição da sobrecarga da estrutura, economizando em formas, transporte, montagem de construções pré-fabricadas, dimensionamento de fundações e em armaduras, sendo uma técnica completamente viável para determinadas situações ACI 213R-03, (2003).

Nos últimos anos tem-se observado a utilização do concreto leve com Argila Expandida em edifícios, pontes, recuperação estrutural e plataformas marítimas. Essas estruturas estão expostas aos mais variados ambientes, e alguns são extremamente agressivos, como é o caso das plataformas marítimas, o que demonstra a grande durabilidade e versatilidade da argila expandida. Em construções de edifícios de múltiplos andares as estruturas de concreto leve com massa específica em torno de 1.800kg/m^3 apresentam uma redução de 30% no custo da fundação, em comparação com as estruturas em concreto com massa específica normal (CINEXPAN, 2021).

As partículas de agregado graúdo são relativamente fracas, e isso é um fator limitante na resistência de concretos leves. Contudo, não existe uma relação definida entre a resistência do agregado e a resistência do concreto (PEREIRA, 2008, apud, NEVILLE, 1997).

No concreto leve, a fratura da peça ocorre através do rompimento dos agregados, enquanto que no concreto convencional esse rompimento ocorre na ligação matriz/agregado. Esse fato torna o concreto leve menos resistente a fratura e aos esforços de flexão do que o concreto convencional (GUEDES, 2019).

Para suprir essa deficiência, a introdução do aço na forma de barras, fios e recentemente na forma de fibras dos mais diferentes tipos, aumenta a capacidade de absorção de energia do compósito, após a fissuração da matriz. Nos países em desenvolvimento, nos quais se encontra o Brasil, o uso do concreto reforçado com fibra tem se intensificado em obras de infraestrutura, notadamente nas áreas de saneamento básico, serviços geotécnicos e de pavimentações, com baixos teores, enquanto nos países desenvolvidos o uso e as pesquisas têm se voltados para os concretos de alto desempenho, auto adensáveis e com elevados teores de fibras (GUEDES, 2019, apud FIGUEIREDO, 2011).

O uso das fibras de aço Wirand no concreto proporciona um melhor comportamento dos elementos estruturais, devido a redução da formação de fissuras, resultando em melhor qualidade e maior durabilidade da obra. Outras vantagens em relação ao seu uso é que substitui, em algumas situações, a armadura convencional e elimina ou diminui custos com mão-de-obra para armação, praticamente não gera desperdício de material, não exige grandes investimentos para transporte, e a estocagem, manuseio e aplicação são simples (MACCAFERRI DO BRASIL, 2021).

Com as vantagens oferecidas pelas fibras de aço devido a sua alta resistência e pela argila expandida, através da sua baixa massa específica, busca-se avaliar a influência na resistência à compressão e possíveis melhorias para a resistência à flexão e módulo de elasticidade, para um concreto utilizando a argila e as fibras em conjunto, tendo assim um produto com uma faixa de aplicação maior, ganhando espaço no mercado e, por consequência, o tornando economicamente mais acessível também.

PROBLEMA DE PESQUISA

O uso de argila expandida é benéfico do ponto da redução de peso dos elementos, porém o mesmo apresenta redução na resistência mecânica a compressão, flexão e módulo de elasticidade. É possível contornar esses decréscimos com a adição de fibras de aço ao concreto?

HIPÓTESES

O uso de fibras de aço como adição, melhoram a resistência mecânica de compressão, flexão e módulo de elasticidade, devido ao alto módulo da fibra e o efeito de costura criado no composto.

JUSTIFICATIVA

O concreto leve estrutural, é utilizado em situações onde se busca a redução de carga por peso próprio dos elementos.

Porém o seu uso é indicado para peças com carregamentos de menor intensidade e elementos de vedação pois a utilização de argila expandida acarreta na redução da resistência mecânica, devido a fragilidade do agregado. Logo, a adição de fibras de aço, busca melhorar tais características através da redução à retração, efeito de costura do concreto além da melhoria significativa que a adição de fibras trás em relação a resistência à flexão, em concretos de modo geral.

Portanto, melhorar o desempenho do concreto leve, é fundamental, ampliando suas possíveis aplicações em elementos de concreto com segurança e custo-benefício necessários.

OBJETIVOS

A seguir, serão apresentados os objetivos gerais e específicos da pesquisa.

OBJETIVO GERAL

Avaliar a influência nas propriedades mecânicas do concreto leve com argila expandida no que tange a resistência a compressão, módulo de elasticidade e resistência a flexão a partir da adição de fibra de aço.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a influência da adição de fibras de aço na resistência a compressão axial do concreto leve com argila expandida.
- Avaliar a influência da adição de fibras de aço na resistência a flexão do concreto leve com argila expandida.

- Avaliar a influência da adição de fibras de aço quanto ao módulo de elasticidade do concreto leve com argila expandida.

REVISÃO DE LITERATURA

A baixo, serão apresentadas, informações sobre o concreto convencional, concreto leve e o concreto com fibras.

Concreto convencional

De acordo com Neville (2016), o cimento é descrito como um material com características adesivas e coesas, com capacidade de unir fragmentos minerais de maneira sólida e compacta.

O cimento Portland é o mais utilizado na construção civil e é basicamente composto por silicato e aluminato de calcário além de adições que são específicas para cada área de aplicação, e que reage ao contato com a água, formando um material sólido e resistente. A composição apenas de cimento e água é conhecida como argamassa e quando misturado com agregados miúdos, como areia, e graúdos como a brita, forma o composto conhecido como concreto. A massa específica do concreto fica em média de 2.400 kg/m^3 , é utilizado para elementos estruturais como vigas, lajes, pilares e de fundação além de peças de vedação que podem ser painéis ou blocos (NEVILLE, 2016).

Porém a história do concreto já vem por volta de 400 a. c. quando os romanos misturavam fragmentos de rochas e areia com cal hidratada e cinzas vulcânicas, obtendo um composto ainda mais resistente se comparado a utilização sem rochas e areia. Em 1824, Joseph Aspdin inventou o cimento Portland conhecido atualmente, a partir da queima de argila e calcário moídos. Com a evolução dos estudos e da tecnologia devido a demanda da construção civil, o concreto teve várias evoluções ao longo dos anos, que atualmente seguem rigorosos controles de fabricação, garantindo a qualidade do produto, assim como seus agregados, que possuem controle tecnológico de britagem, para a britas e coleta de areia de boa qualidade. Que quando misturados, geram uma mistura com alta resistência a compressão. A partir da década de 30, houve um grande salto tecnológico, quando o concreto passou a ser produzido em usinas, com dosagem e mistura ideal entre cimento, areia, pedra e água, garantindo a qualidade e especificações necessárias para seu uso. Em 1980 já existia concretos de alta resistência, com fibras e iniciava o uso de aditivos, que conferiram o atual cenário do concreto (REVISTA CONCRETO USINADO, 2013).

Concretos leves

Normalmente, a designação de concreto leve é utilizada para identificar concretos com estrutura porosa, geralmente à base de ligantes hidráulicos, com massa específica inferior à dos concretos tradicionais (ROSSIGNOLO, 2003).

A NBR 12655:2015, diz que os agregados, quando caracterizados em laboratório, no estado endurecido e seco, apresentem massa entre 0,8 e $2,0 \text{ g/cm}^3$.

Existem diversos agregados leves que podem ser utilizados em substituição total ou parcial aos agregados convencionais, como argila expandida, pumicita (pedra-pomes), vermiculita

e cinza volante sintetizada. Dependendo do tipo de agregado, traço e dosagem da mistura, concretos produzidos com agregados leves podem atingir resistências moderadas e altas (GOMES, *et al*, 2015, *apud* MAYCÁ, *et al*, 2008).

O agregado leve sintético poliestireno expandido (EPS), conhecido popularmente como isopor, com massa específica inferior a $0,030 \text{ g/cm}^3$, tem sido também utilizado para produzir concretos com massa específica entre 600 kg/m^3 e 1.800 kg/m^3 , e resistências à compressão entre 4 MPa e 12 MPa, dependendo do tamanho e da quantidade de EPS (GOMES, *et al*, 2015, *apud* BABU E BABU, 2002).

Concreto leve com argila expandida

Diante das demandas observadas em campo e por conseguinte nas soluções em tecnologia do concreto, estudos foram desenvolvidos para melhorias da forma convencional de produção, um deles é a utilização de agregados mais leves produzindo uma mistura com massa específica menor e mantendo suas características mecânicas de resistência a compressão (ANGELIN, 2014).

Segundo Moncada *et al* (2019), a argila expandida é um agregado obtido através do aquecimento de diferentes tipos de argila à uma temperatura estimada em $1200 \text{ }^\circ\text{C}$, exposta a tal temperatura este agregado emite gases expandindo-a em até sete vezes seu volume inicial. Esses mesmos gases não são emitidos ao exterior sendo retido na argila após o resfriamento, assim diminuindo a massa unitária do material, sendo utilizada em concreto leve, possuindo uma densidade aparente de $500 \text{ Kg/m}^3 \pm 10 \%$ utilizou-se como principal agregado graúdo visando abaixar o peso próprio de estruturas.

Atualmente, cerca de 60% da produção de argila expandida no Brasil destinou-se ao setor da construção civil e 40% aos setores de lavanderia (20%), paisagismo, refratários e demais aplicações, como substratos em geral (MENDES *et al*, 2016, *apud* FRANÇA, *et al*, 2018).

De acordo com Angelin (2014), é de suma importância que se tenha conhecimento sobre tais materiais para que possa se implantar no dia a dia o uso do concreto leve estrutural, reduzindo custos e ao mesmo tempo com um material que atenda todas as normas vigentes.

A argila é adicionada ao concreto como agregado graúdo, com o intuito de gerar economia através da redução da massa específica, por consequência, os carregamentos atuantes diminuindo as dimensões das peças estruturais (MORAVIA *et al*, 2006 *apud* FRANÇA, *et al*, 2018)

Além das normas vigentes no Brasil, instituições internacionais como a American Concrete Institute (ACI), através da ACI 213R-03 (2003), completam as possíveis aceitações de produtos e processos executivos na área de concreto (FRANÇA, *et al*, 2018).

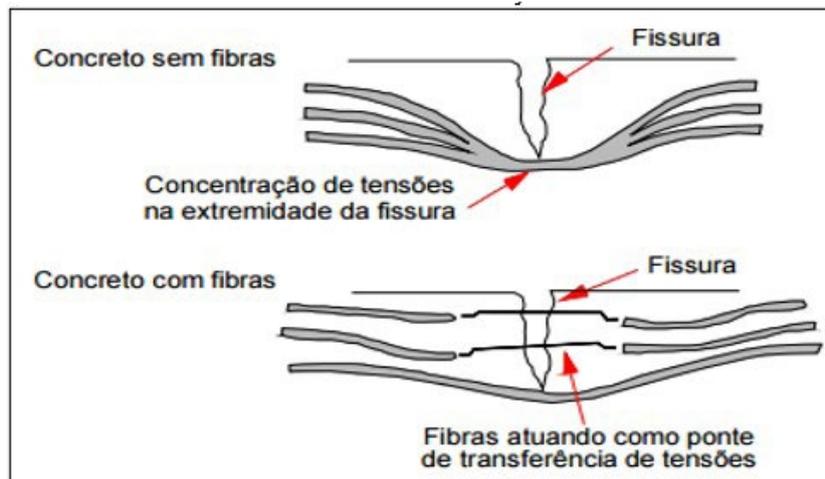
A resistência mínima para concretos leves é de 20 Mpa e sua massa específica pode variar entre 1.500 a 2.000 kg/m^3 .

Outras características que se pode ter é uma boa resistência à compressão com redução potencial do custo; redução da retratação por secagem e fissuração; aumento da durabilidade devido à menor ocorrência de fissuras; maior facilidade na mistura, bombeamento e manuseio (CINEXPAN, 2022).

Concreto com adição de fibras

Concreto reforçado com fibras, conhecido como (CRF), é a composição da mistura do cimento, com agregados graúdos e miúdos com a adição de fibras que podem ser de aço, fibra de vidro, fibra de carbono, fibras poliméricas ou naturais e são utilizadas como opção para o uso no concreto armado, em pré-moldados e moldados in loco além de concreto projetado. As aplicações do CRF são relacionadas a obras com alta demanda social como as de infraestrutura para transporte, túneis entre outros (FIGUEIREDO, 2011 *apud* TSCHÁ, 2016, p. 26).

Figura 1 – concreto reforçado com fibras



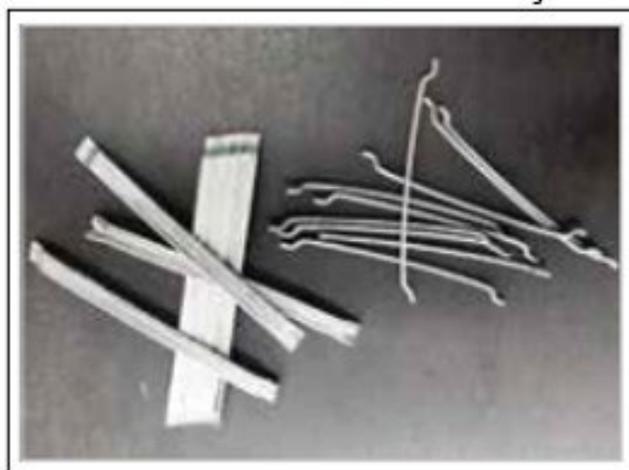
Fonte: Figueiredo (2011).

A adição de fibras pode trazer um aumento da resistência e da ductilidade do concreto quando submetido à tração, a flexão e também à compressão, trazendo benefícios ao concreto, diminuindo a retração, melhorando no comportamento pós-fissuração, a erosão e a fadiga, maior resistência ao impacto, entre outros (METHA E MONTEIRO, 2014 *apud* TSCHÁ, 2016, p. 26).

O concreto pode ter resistência convencional, na faixa dos 25 a 35 Mpa ou acima disso, se enquadrando como alta resistência. Em ambas as condições, a condição de fluidez merece uma atenção especial, já que a adição de fibras acaba diminuindo essa característica devido à grande área superficial da mesma, gerando mais atrito entre os materiais, situação que pode ser contornada com porcentagem menor de adição de fibras ou ainda com a adição de aditivos plastificantes (REVISTA CONCRETO E CONTRUÇÕES, 2017).

A maioria das fibras de aço, possuem secção circular, pois são provenientes do corte de fios trefilados, ou de secção retangular pois são feitas a partir de chapas. Porém as que apresentam maior eficiência, são de secção circular com diâmetro de 0,5 a 1 mm. com gancho nas pontas das fibras e com resistência que varia na casa dos 500 a 1150 Mpa e módulo de elasticidade de 210 Gpa. (REVISTA CONCRETO E CONCTRUÇOES, 2017).

Figura 2 – Fibra de aço



Fonte: Concreto e Construção (2017).

Segundo Vavrus (2021), outro fator que também é importante para o bom desempenho do concreto com adição de fibras, é o comprimento das mesmas, pois se muito curtas, não possuem um efeito de costura adequado e se forem longas, não dão trabalhabilidade suficiente a mistura, o que inviabiliza a aplicação.

Fibra Wirand FS - 8

As fibras de aço Wirand para reforço de concreto, são produzidas a partir de fios de aço de baixo teor de carbono, que quando adicionadas ao concreto, atuam como uma armadura tridimensional, restringindo a propagação de fissuras e aumentando a resistência pós-fissuração do elemento estrutural (MACCAFERRI DO BRASIL, 2022).

Além disso, a utilização das mesmas aumenta a resistência do concreto à:

- Fissuração;
- Impacto;
- Puncionamento;
- Cargas variáveis;
- Variações térmicas;

Além de tornar o concreto fibro- reforçado, mais dúctil e menos permeável (MACCAFERRI DO BRASIL, 2022).

Tabela 1 – Fibra Wirand FS – 8

Fibra FS - 8	
Comprimento (mm).	25
Diâmetro (mm).	0,75
Resistência a tração (Mpa).	>1100
Módulo de elasticidade (Gpa).	210
Deformação na ruptura (%)	<4

Fonte: Maccaferri do Brasil (2021).

Concreto leve com adição de fibras

De acordo com Guedes (2019), o uso de adição de fibras em concretos leves vem crescendo bastante nas últimas décadas, tendo em consideração as vantagens obtidas pela adição de fibras em matrizes frágeis, as quais atuam como ponte de transferência de tensões através das fissuras reduzindo sua propagação e expansão, proporcionando um aumento da capacidade de absorção de energia e de cargas de impacto ao material, resistência à tração e à flexão, bem como melhorias termoacústicas.

Durante a fase de comportamento elástico as fibras não exercem nenhuma função significativa, as quais irão ser observadas apenas no período pós-fissuração com o aumento na resistência do concreto (GUEDES, 2019).

Ainda de acordo com Guedes (2019), o objetivo de adição das fibras não é aumentar a resistência aos esforços de compressão, porém os acréscimos e decréscimos estão ligados diretamente ao volume de fibras adicionado.

Os decréscimos estão ligados a incorporação de ar que dificulta o empacotamento da mistura, já os acréscimos podem ocorrer em decorrência de um adensamento adequado, otimizando o empacotamento granular, acarretando aumento de resistência, módulo e tenacidade (GUEDES, 2019)

Observou-se também que a influência da adição de fibras de aço carbono nas proporções de 0,30%; 0,60% e 0,90% do volume da mistura, em concretos leves, com diferentes dimensões de argilas expandidas, para ensaios de quatro pontos, em corpos de prova prismáticos, medindo 100 x 100 x 400 mm, geraram aumento na tensão de flexão a medida que aumentavam a proporção das fibras de 0,30% a 0,90%, sendo esse aumento da ordem de 66,6% para as fibras de aço e de 45,9% para as fibras de carbono, atingindo 5,88 MPa e 5,15 MPa, respectivamente (WU, 2019 *apud* GUEDES, 2019, p. 45).

Ao analisarem o comportamento de dois concretos: um concreto convencional e um concreto leve produzido com argila expandida, ao adicionarem fibra de vidro nas frações de volumes entre 0 % e 2 %. Perceberam pouca influência na resistência à compressão e no módulo de elasticidade, mas aumentos na resistência à flexão e na resistência à fratura, independentemente do tipo de matriz ou comprimento da fibra. Os resultados também mostraram que a compressão, a flexão e a resistência ao cisalhamento aumentaram com o aumento do teor de fibras, enquanto a trabalhabilidade diminuiu com o aumento no teor de fibras (TASSEW E LUBELL, 2019 *apud* GUEDES, 2019, p. 46-47).

MATERIAL E MÉTODO

A seguir serão abordados os materiais e a metodologia empregada na pesquisa realizada.

MATERIAL

Ressalta-se os materiais usados na produção do concreto estudado.

- Cimento CP-V ARI

A utilização desse material é proveniente do traço adotado (1 : 2,1 : 0,8) para a pesquisa, que é fornecido pela CINEXPAN, empresa fabricante da argila expandida utilizada, onde o cimento CP-V ARI é usado para a confecção de concreto leve estrutural com resistência de 30 Mpa.

- Areia

A areia utilizada na pesquisa, é oriunda do rio Paraná, que é a fornecida nas lojas da cidade de Medianeira. Para verificar a qualidade do material e sua possível utilização no concreto, foi realizado o ensaio de peneiras, seguindo as prescrições da NBR 16915:2021, para avaliar o módulo de finura da mesma. Na tabela 2, pode-se avaliar a porcentagem de material retido nas peneiras.

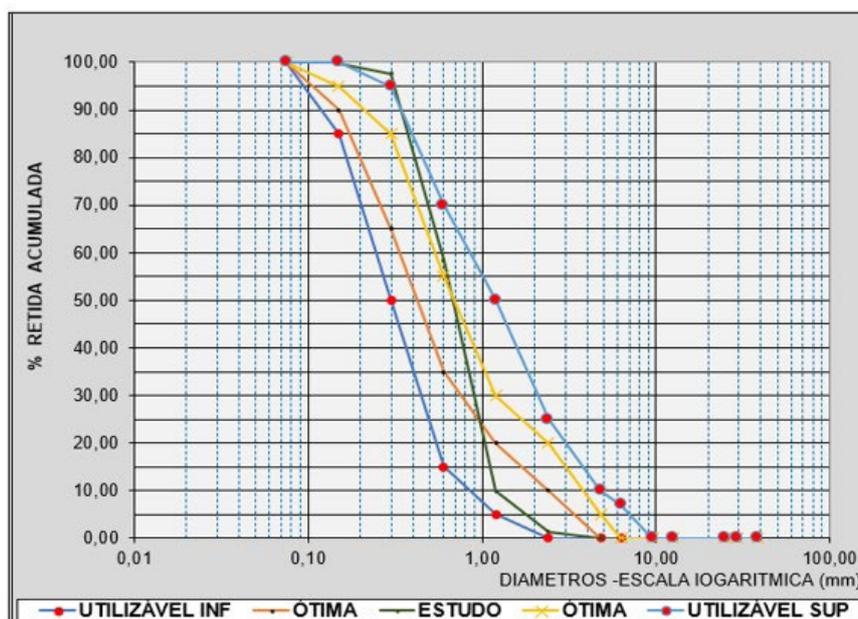
Tabela 2 – Granulometria da areia

Peneira (mm)	Material retido (g)	Porcentagem retida	Porcentagem retida acumulada
6,3	0,00	0,0	0,0
4,75	0,00	0,0	0,0
2,36	2,00	0,4	0,4
1,18	7,00	1,41	1,54
0,6	42,00	8,48	10,02
0,3	240,00	48,48	58,5
0,15	194,00	39,19	97,7
Fundo	10,00	2,02	100
Módulo de finura= 1,67			
Diâm. máx.= 1,18			

Fonte: O autor (2021).

O gráfico 1 indica a curva granulométrica do agregado, em comparação com a zona utilizável recomendada.

Gráfico 1 – Curva Granulométrica da areia



Fonte: O autor (2021).

A partir das informações do gráfico 1, todo o material retido no fundo das peneiras, ou seja, o material pulverulento, foi removido para a confecção do concreto, pois o mesmo fica fora da zona utilizável, além de que sem o mesmo, pode-se diminuir a utilização de água, mantendo a relação a/c mais próxima ao que é fornecido pela CINEXPAN.

- Argila expandida

A argila expandida escolhida, é produzida pela CINEXPAN, que é líder no mercado, em produção para a utilização na construção civil. A argila em questão é do tipo 1506, pois é a mesma utilizada no traço de referência da pesquisa, sem a adição de nenhuma outra granulometria. Sua dimensão é de 6/15 mm. que é equivalente a brita 0. A densidade aparente é de 600 kg/m³ (+/- 10%), superfície microporosa, rígida e de alta resistência com interior cerâmico poroso. Produzida em forno rotativo a 1.200 °C, com produtos naturais, não inflamável e não degradável.

- Fibra Wirand FS - 8

A fibra utilizada, foi a WIRAND FS-8 da MACCAFERRI DO BRASIL. É uma fibra de aço com baixo teor de carbono e de alto módulo (210 GPa), fabricada a partir do corte de chapas, em tiras muito finas, com diâmetro de 0,75 mm. e comprimento de 25 mm. que ficam semelhantes a fios. Sua utilização vem sendo ampla em obras de infraestrutura, como túneis e obras especiais. Seu formato geométrico, com as pontas dobradas, garante a ancoragem necessária ao concreto, diminuindo sua retração e fissuração, aumentando a resistência do composto, pois trabalha como uma armadura tridimensional.

- Aditivo plastificante

O concreto produzido recebeu a dição de aditivo plastificante, pois além de ser indicado no traço de referência da CINEXPAN, apenas para o concreto leve, sem adição de fibras, o mesmo se faz tão necessário ainda, quando adicionadas, pois o uso de fibras na mistura, reduz consideravelmente a fluidez do concreto, quase que inviabilizando sua aplicação na maioria das situações. O aditivo utilizado, foi o FORTMIX 611, que é utilizado na faixa de 0,8% a 1,2% sob o peso de cimento e aplicado junto a água de amassamento.

METÓDO

Os corpos de prova foram moldados no formato cilíndrico e prismático, de acordo com a NBR 5738:2015 com o concreto seguindo o traço de referência, que é de 1 : 2,1 : 0,8 e relação a/c= 0,47. O mesmo, teve a adição de diferentes teores de fibra em relação ao volume de concreto: 0,75%, 1% e 1,25%. Durante a moldagem, também foi analisado a quantia de aditivo a ser utilizado, tendo como ponto de partida, o mínimo recomendado pelo fabricante. Para o traço de referência foi utilizado 0,8% sob o peso de cimento, atingindo um abatimento de 10,5 cm; para a adição de 0,75 % de fibra foram 0,95% de aditivo atingindo 9,5 cm de abatimento; a adição de 1% de fibra consumiu 1% de aditivo, chegando aos 10 cm de abatimento; e por último, a adição de 1,25% de fibras utilizou 1,1% de aditivo, batendo 11 cm de abatimento, logo, todos os traços ficaram na faixa de abatimento de 10+-1 cm. Os corpos de passaram por ensaios mecânicos após 28 dias de cura submersa. Os ensaios realizados somente aos 28 dias, se dão ao uso do cimento

e da argila expandida, que possui resistência inferior aos agregados convencionais, logo, mesmo com a utilização do cimento CPV – ARI, nos primeiros dias de moldagem, o concreto ainda apresenta resistência baixa, inviabilizando os ensaios na primeira semana, para essa pesquisa, optou-se por não realizar os ensaios nos primeiros dias de concretagem.

- Ensaio de resistência a compressão

Para o ensaio de resistência à compressão axial foram utilizados corpos de prova cilíndricos com dimensões de 100 x 200 mm. (diâmetro e altura), de acordo com a NBR 5739:2018, 4 para o concreto de referência e mais 12 corpos de prova com diferentes teores de fibra, sendo 4 CP'S com 0,75% de adição, 4 CP'S com 1% de adição e 4 CP'S com 1,25% de adição. Os mesmos foram submetidos a compressão axial pura e levados a ruptura a fim de obter quais as suas resistências.

- Ensaio de módulo de elasticidade

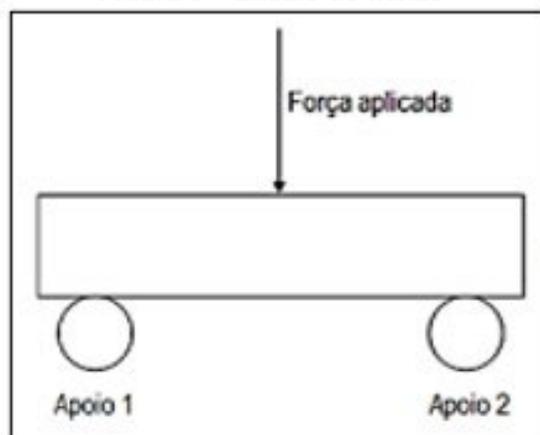
O ensaio de módulo de elasticidade estático segue a NBR 8522-1:2021. Ensaiado em corpos de prova cilíndricos de 100 x 200 mm., com 3 CP'S como referência e mais 9 CP'S com as variações das fibras de aço, que são de 0,75% de adição, 1% de adição e 1,25% de adição. Os mesmos foram expostos a ciclos de carregamento mínimo, com 0,6 megapascal de carga, que varia entre 5% e 6% da carga de ruptura para cada adição. Para o carregamento máximo, foi aplicado 30% da carga de ruptura obtida no ensaio de compressão, respectiva a cada traço. Os ciclos são de 60 segundos para cada carregamento onde mediu-se através de sensores, as deformações para cada carregamento; e no final levados a ruptura, para obter sua resistência a compressão.

- Ensaio de resistência a flexão

Para o ensaio de flexão foram utilizados 16 corpos de prova nas dimensões de 150 x 150 x 450 mm. (altura, largura e comprimento), tendo como base a ASTM C293M (2016). Utilizando 4 CP'S de referência, sem adições, 4 CP'S com 0,75% de adição, 4 CP'S com 1% de adição e 4 CP'S com 1,25% de adição.

Os corpos de prova sofreram um carregamento pontual no meio do vão livre, como indica a figura 3.

Figura 3 – Ensaio de flexão



Fonte: Santana (2016)

O vão livre entre apoios é de 40 cm. e mais 2,5 cm. para cada lado de sobra. A carga foi aplicada até a ruptura do prisma.

- Verificação de massa específica e abatimento no estado fresco

O ensaio de massa específica segue a NBR 9833:2008, onde verificou-se a massa específica para cada traço de concreto de acordo com suas respectivas adições de fibras de aço. Foram pesados os recipientes de moldagem antes da serem preenchidos com o concreto e pesados posterior a moldagem, onde a diferença de massa representa a massa de concreto e com o volume do molde, também conhecido, pode-se calcular a densidade dos mesmos. Já a verificação do abatimento, feita através do SLUMP TEST segue a NBR NM 67:1998.

RESULTADOS OBTIDOS

Neste tópico serão abordados os resultados obtidos após os ensaios laboratoriais.

Resistência a compressão

Após a realização dos ensaios em laboratório, constatou-se um acréscimo a resistência do concreto com a adição das fibras, de acordo com a tabela a 3.

Tabela 3 – Resistência A Compressão Axial.

Concreto	Resistência média (Mpa)	Acréscimo de resistência (%)
Referência	20,23	-
0,75% de adição de fibras	24,22	19,76
1% de adição de fibras	24,08	19,05
1,25% de adição de fibras	24,39	20,59

Fonte: O autor (2022).

A adição das fibras de aço, para os 3 teores estudados, trouxe um ganho na casa dos 19% de resistência, com um acréscimo de até 84,71 Kg de massa específica se comparados ao concreto de referência. Como é mostrado no gráfico 2.

Gráfico 2 – Resistência X Massa Específica



Fonte: Autor (2022).

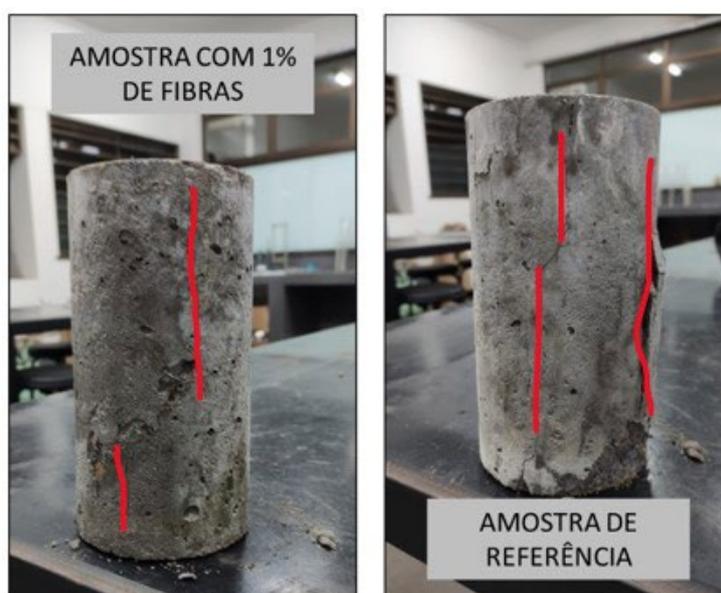
Esse acréscimo é proveniente de um adensamento adequado, resultando no confinamento do composto, logo, as fibras absorvem parte dos esforços atuantes, retardando a fissuração e o rompimento do concreto (GUEDES, 2019).

Outra análise mostra que as fibras agem como ponte de transferência entre as fissuras de cisalhamento internas ao concreto, o que acaba aumentando a tenacidade à compressão (FIGUEIREDO, 2011).

Pode-se observar também, que o ganho de resistência é basicamente o mesmo, para os teores de fibra avaliados, ficando na faixa de 24 MPa. Isso é proveniente da fragilidade ao cisalhamento da argila expandida, que se rompe a partir do momento que a mesma é solicitada.

Segundo Pereira (2008), essa fragilidade é constatada através da fissuração do corpo de prova, que ocorre de maneira colunar, que atravessa o agregado quando a matriz possui maior rigidez. Como pode ser observado na figura 4.

Figura 4 – Modo de ruptura à compressão axial



Fonte: Autor (2022)

Módulo de elasticidade

Os resultados para o módulo de elasticidade em concretos com argila expandida ficam entre 14 GPa. e 18 GPa. (SCHWANTES, 2012, apud, SARTORI, *et al*, 2018).

A utilização de fibras de aço, podem trazer melhoras de resultado, devido ao alto módulo da fibra.

Como mostra a tabela 4, para o valor de referência, o módulo de elasticidade, está dentro do intervalo previsto para esse material e sofre um pequeno aumento até a teor de 1% de adição de fibra, posteriormente começa a sofrer redução.

Segundo Bezerra (2012), a adição de fibras a partir de uma determinada porcentagem, tende a diminuir o módulo de elasticidade, e isso ocorre pelo aumento de interface de interação da matriz cimentícia.

Isso explica a redução para teores mais elevados.

Tabela 4 – Módulo de Elasticidade

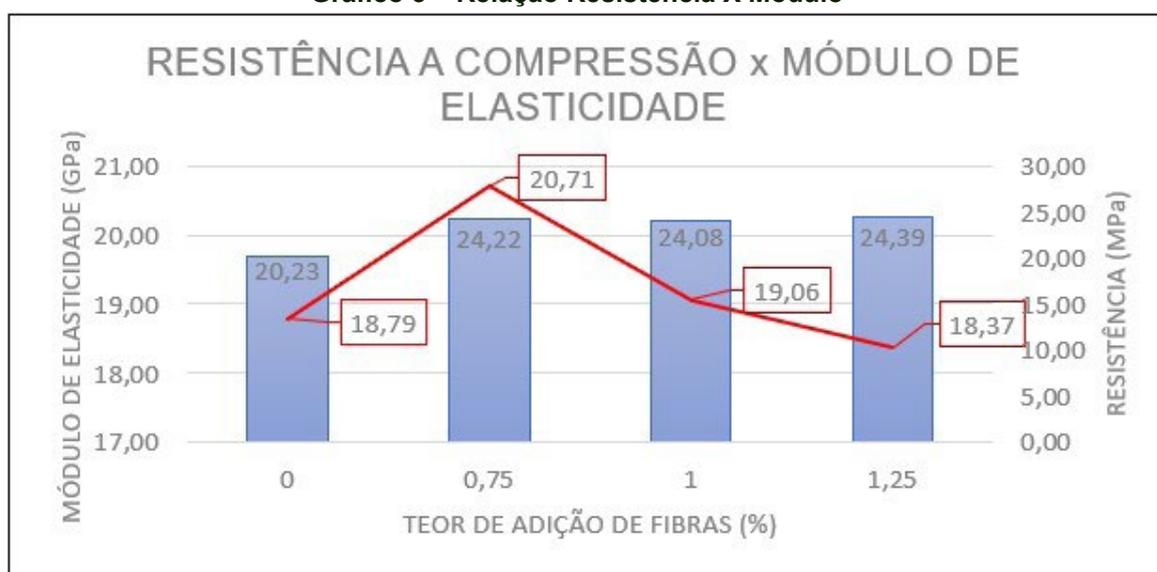
Concreto	Resistência média (GPa)	Acréscimo de resistência (%)
Referência	18,78	-
0,75% de adição de fibras	20,70	11,12
1% de adição de fibras	19,05	1,87
1,25% de adição de fibras	18,37	- 2,18

Fonte: O autor (2022).

Segundo Neville (1997), o módulo está ligado a resistência, porém não existe uma regra para essa relação, pois varia de acordo com o material.

Essa ligação pode ser vista no gráfico 3, onde os concretos estudados apresentam tal comportamento.

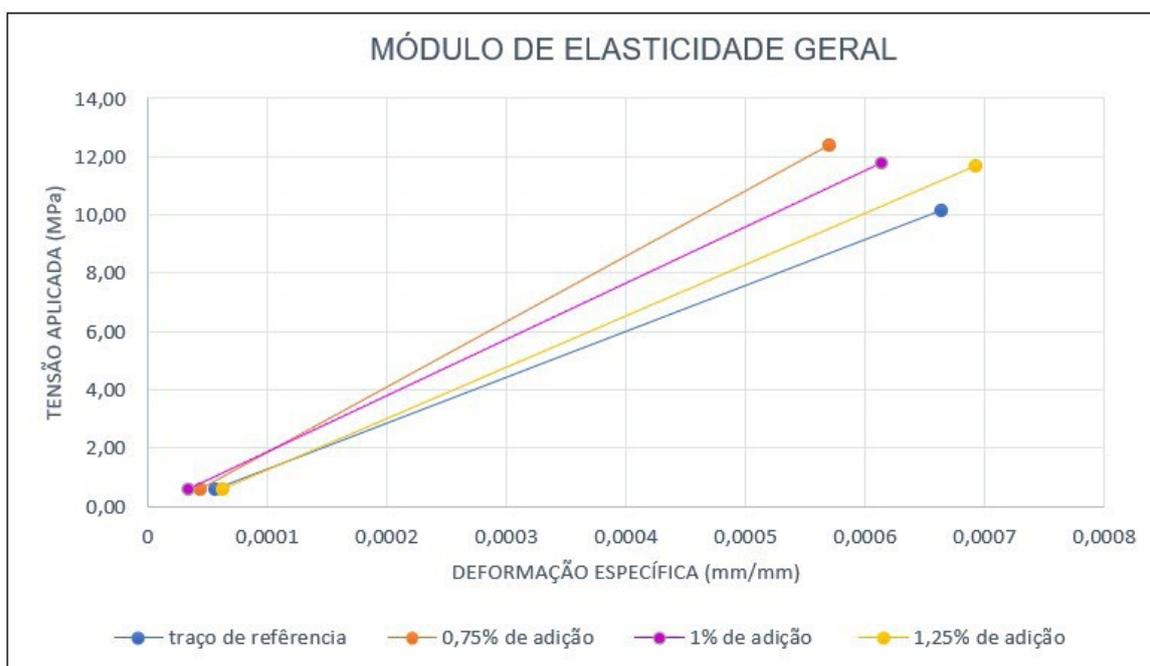
Gráfico 3 – Relação Resistência X Módulo



Fonte: Autor (2022).

Entre os concretos estudados, com adição de fibra, o que apresentou melhor relação entre tensão e deformação, foi o traço com adição de 0,75% de fibras, que é o mesmo traço que apresenta a melhor relação entre resistência a compressão e módulo de elasticidade, como mostra o gráfico 4.

Gráfico 4 – Módulo de Elasticidade



Fonte: Autor (2022).

RESISTÊNCIA A FLEXÃO

Neste ensaio, pode-se avaliar a influência da adição das fibras, e que é um dos pontos mais relevantes em questão de melhoria, a tabela 5 apresenta os valores obtidos.

Tabela 5 – Resistência A Flexão

Concreto	Resistência média (Mpa)	Acréscimo de resistência (%)
Referência	4,48	-
0,75% de adição de fibras	4,08	- 9,04
1% de adição de fibras	4,87	8,65
1,25% de adição de fibras	4,59	2,5

Fonte: O autor (2022)

Logo, verificou-se que a adição de fibras, não gera resultados consideráveis.

Um ponto que pode influenciar diretamente na resistência a flexão: A má distribuição das fibras na mistura. (GUEDES, 2019)

Entretanto, como houve um ganho na resistência a compressão, devido ao bom empacotamento dos materiais, uma má distribuição das fibras não seria fator para não haver acréscimo de resistência a flexão. No gráfico 5 observa-se o comportamento do material em relação ao teor de dição.

Gráfico 5 – Resistência a tração na flexão



Fonte: Autor (2022).

Pereira (2008), também comenta, quando o agregado é menos resistente que a matriz cimentícia, a resistência do concreto se limita ao agregado.

Logo, a fragilidade da argila expandida, explica os resultados obtidos, pois quando submetida à esforços de tração, acaba rompendo antes das fibras entrarem ação, ou seja, não suporta a fissuração do concreto, mesmo que muito pequena, acaba colapsando, como mostra a figura 5.

Figura 5 – Fraturamento da Argila Expandida



Fonte: Autor (2022).

Entretanto, mesmo que a adição de fibras, não traga acréscimo no valor de resistência a flexão, as mesmas mudam bruscamente o tipo de ruptura do corpo de prova, tornando seu rompimento dúctil, e não mais frágil, como ocorre no traço de referência, tal comportamento é visto na figura 6.

Figura 6 – Modo De Ruptura À Flexão



Fonte: Autor (2022).

MASSA ESPECÍFICA NO ESTADO FRESCO

Após a produção de cada traço de concreto, os moldes de corpo de prova foram pesados para verificar a massa específica de cada traço de concreto no estado fresco com as adições de fibra e comparados ao concreto de referência, como mostra a tabela 6.

Tabela 6 – Massa Específica

Concreto	Massa específica (kg/m ³)	Acréscimo em relação ao traço de referência (%)
Referência	1.677,71	-
0,75% de adição de fibras	1.719,75	2,51
1% de adição de fibras	1.759,87	4,90
1,25% de adição de fibras	1.762,42	5,05

Fonte: O autor (2022).

A partir dos resultados, verifica-se que o aumento da massa específica não é linear da mesma forma que o teor de fibras adicionadas. Tendo em vista que todos os materiais empregados e o traço são os mesmos, mudando apenas pelas adições. Esse acréscimo não proporcional se dá pela densidade da argila expandida.

Uma variação de mais ou menos 10% na massa específica da argila expandida, que gira na faixa de 600 kg/m³ para a granulometria 1506 (CINEXPAN, 2022).

Intervalo que se mostra na variação entre os traços, com aumento de massa específica na casa de 2% entre os traços de referência, 0,75% de adição de fibras e 1% de adição de fibras, já para 1,25% de adição de fibras o acréscimo na massa específica foi de 0,14%. Logo essa variação na massa específica da argila expandida acaba interferindo diretamente na densidade final do concreto e que deve ser levada em consideração nos procedimentos de cálculo durante o uso desse material

O gráfico 6, mostra que mesmo havendo variação na massa específica da argila expandida, o concreto sob diferentes teores de adição de fibras, mantem 94,53% de compatibilidade entre os traços.

Gráfico 6 – Massa Específica



Fonte: Autor (2022).

Outra característica do estado fresco, é referente ao abatimento, que através dos ensaios em relação a taxa de aditivo, pode-se manter a dosagem dentro do intervalo estipulado, para todos os traços, como mostra o gráfico 7, assim como a adição de fibras se faz necessário a utilização de mais plastificante para manter o SLUMP sem alteração do fator a/c.

Gráfico 7 – Adição De Aditivo X Abatimento



Fonte: Autor (2022).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mediante os resultados dos ensaios feitos em laboratório, a utilização de fibras de aço junto ao concreto leve, se mostrou mais eficiente para a dição de 0,75% pois possui a melhor relação entre resistência a compressão e módulo de elasticidade.

A adição de fibras se mostrou favorável para a resistência a compressão axial, trazendo ganhos consideráveis em relação ao concreto de referência.

Entretanto, para que isso aconteça, a preparação do concreto deve ser sob rigoroso controle, para garantir as boas práticas. Tais condições podem ser encontradas em centrais de concreto e indústrias de pré – fabricados.

Junto ao ganho de resistência a compressão, o módulo de elasticidade também teve aumento característico, com ênfase a adição de 0,75%, que apresentou o maior módulo entre os traços estudados.

Já para a resistência a flexão as fibras não surtiram efeito, pois a fragilidade do agregado é o fator limitante para essa característica.

Logo, para a produção de elementos pré - fabricados e concretos especiais, com baixo índice de retração, baixa massa específica e com características mecânicas melhores, a utilização do concreto leve com argila expandida e adição de fibra de aço, é uma solução viável e que pode trazer reduções de custos consideráveis do ponto de vista global em obras de médio e grande porte.

Já para obras de pequeno porte ou para concreto produzido no canteiro de obras, a utilização desse composto não é indicada, pois além do custo, que o faz viável sob utilização em larga escala, sua produção sem controle técnico, pode trazer problemas estruturais devidos a falhas de concretagem e outros que podem comprometer a integridade do projeto.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR 5739:2018. Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: < <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?Q=RXZ5VStweWJKaF11cXc5YnUwc1ZxK2RyNUh3QVRXNVI3YS9yazNxZEg2Zz0=> >. Acesso em 09 de fevereiro de 2022.

ABNT NBR 8522-1:2021. Concreto endurecido - Determinação dos módulos de elasticidade e de deformação Parte 1: Módulos estáticos à compressão. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: < <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?Q=dIJFVjIOWEIrVTVVcjV1RGRpU1pGYjBPcUd0SEN3Tjdjam1UTkpzaXExZz0=> >. Acesso em 25 de fevereiro de 2022.

ABNT NBR 9833:2008 Versão corrigida:2009 – Concreto fresco – Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico.

Ri de Janeiro, 2009. Disponível em: < <https://www.abntcatalogo.com.br/normagrid.aspx> >. Acesso em 05 de abril de 2022.

ABNT NBR 12655:2015 Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=327760>>. Acesso em 23 de setembro de 2021.

ABNT NBR 16915:2021. Agregados - Amostragem. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?Q=85ED96E45352EA5DCA01C1F90723A655DE50DDDF823F26834223C161CA8AF4AF>>. Acesso em 12 de setembro de 2021.

ADITIVOS DAF - QUÍMICA EM CONCRETO. Fortmix 611. Disponível em: <<http://dafquimica.com.br/single-product.php?id=2778&cat=Qu%EF%BF%BDmica%20industrial>>. Acesso em 21 de fevereiro de 2022.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 2003, ACI Committe 213R-03. "Guide for Structural Lightweight – Aggregate Concrete". Disponível em: <<http://www.uomisan.edu.iq/library/admin/book/68340626265.pdf>>. Acesso em: 27 de outubro de 2021.

ANGELIN, A. F. Concreto leve estrutural - Desempenhos físicos, térmicos, mecânicos e microestruturais. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado da Faculdade de Tecnologia, Universidade Estadual de Campinas Faculdade de Tecnologia, Limeira, 2014.

ASTM C293M – 2016. Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam With Center-Point Loading). Disponível em: <<https://normanray.files.wordpress.com/2010/10/kuliah-7-c293.pdf>>. Acesso em: 25 de abril de 2021.

BEZERRA, A. C. S. Concreto com fibras curtas de aço submetido a alta temperatura. 127f. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas, Belo Horizonte, MG, 2012.

CINEXPAN. Argila Expandia. Disponível em: <<https://www.cinexpan.com.br/concreto-leve-estrutural.html>>. Acesso em 12 de outubro de 2021.

Concreto e construções: Concreto reforçado com fibras – Pesquisa, projeto, tecnologia, controle da qualidade e uso do CRF no Brasil e no mundo . Revista IBRACON, jul. / set. 2017. Disponível em: <http://revistahumanidades.com.br/arquivos_up/artigos/a172.pdf>. Acesso em: 17 outubro 2021.

Concreto usinado: A história do concreto. Disponível em: <<https://www.concretousinado.com.br/noticias/historia-concreto/>>. Acesso em 28 de setembro de 2021.

CUNHA, F. G. Efeito da adição de fibras como reforço de concreto leve formulado usando múltiplos resíduos. 107f. Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais, Natal, RN, 2019.

França. A. A. R; ROCHA. R. O; FERES. A; MAIA. C. L. Concreto leve estrutural com argila expandida: determinação do traço. Revista humanidades , v.7, n.2, jul. 2018. Disponível em: <http://revistahumanidades.com.br/arquivos_up/artigos/a172.pdf>. Acesso em: 17 outubro 2021.

FIGUEIREDO, A. D. de. Concreto Reforçado com Fibras. 2011. 240 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Acesso em 11 de maio de 2022.

GOMES P. C. C; ALENCAR T. F. F; SILVA N. V; MORAES K. A. M; ANGULO S. C. Obtenção de concreto leve utilizando agregados reciclados. Disponível em : <<https://www.scielo.br/j/ac/a/>

QtC7TjwjZjRrX9q7m6Rftxz/?lang=pt>. Acesso em: 28 de maio de 2022.

MACCAFERRI DO BRASIL. Fibras de aço. Disponível em: <<https://www.maccaferri.com/br/produtos/fibras/fibras-wirand/>>. Acesso em 12 de outubro de 2021.

MONCADA, J. E. C. M; Flor, LDS; Silva, VA; Pacheco, JS. Estudo da adição de argila expandida e EPS como agregados na elaboração de concreto leve. Revista Teccen. 2019.

NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto. Disponível em: < https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=dYOPCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR1&dq=artigos+sobre+concreto&ots=lbjJXuPwOK&sig=IrKoh_yKaZellHhRCd1Y-XkJiHw#v=onepage&q=artigos%20sobre%20concreto&f=false>. Acesso em: 28 outubro 2021.

PEREIRA, M. R. Estudo da adição de argila expandida na formulação de concretos leves. 2008. 85 f. Dissertação de Mestrado em Ciência e Engenharia dos Materiais. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN.

SANTANA, B. A. Análise experimental e computacional para ensaio de flexão de materiais. 104p. Dissertação (pós graduação), Universidade Federal Rural Do Rio De Janeiro, Programa De Pós-Graduação Em Modelagem Matemática e Computacional Seropédica, RJ, 2016.

SARTORI. A. L.; BARBOSA L. S.; OLIVEIRA E. S.; BRITO K. O.; LIMA T. C. R. Módulo de elasticidade estático e dinâmico para concretos leves. Disponível em: < <https://seer.imed.edu.br/index.php/revistaec/article/view/2173/1884>>. Acesso em 14 de maio de 2022.

TSCHÁ, T. C. Análise do comportamento da telha de concreto com adição de fibra sintética frisada. 64p. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil, Centro Universitário Dinâmica das Cataratas, Foz do Iguaçu, 2016.

VAVRUS. Disponível em : < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146521004907>>. Acesso em 17 de outubro de 2021.