

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

PAULO HENRIQUE CARVALHO DE MELLO

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE USINAGEM DO TIPO CAVACO EM
SUBSTITUIÇÃO A FIBRA DE AÇO NO CONCRETO PARA PISOS INDUSTRIAIS**

GUARAPUAVA

2021

PAULO HENRIQUE CARVALHO DE MELLO

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE USINAGEM DO TIPO CAVACO EM
SUBSTITUIÇÃO A FIBRA DE AÇO NO CONCRETO PARA PISOS INDUSTRIAIS**

**USE OF STEEL CHIP-TYPE MACHINING WASTE IN THE REPLACEMENT OF
FIBERSTEEL IN CONCRETE FOR INDUSTRIAL FLOORING**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentada como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Msc. Dyorgge Alves Silva

GUARAPUAVA



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

2021

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE USINAGEM DO TIPO CAVACO EM
SUBSTITUIÇÃO A FIBRA DE AÇO NO CONCRETO PARA PISOS INDUSTRIAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 02/ dezembro /2021

Dyorgge Alves Silva
Mestrado em Estruturas e Construção Civil
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Gustavo De Miranda Saleme Gidrao
Doutorado em Engenharia de Estruturas
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Andreza Frare
Mestrado em Engenharia Civil
Centro Universitário Campo Real

GUARAPUAVA

2021

Dedico este trabalho a minha família por todo o
apoio prestado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço essencialmente a todas as pessoas que me auxiliaram em toda a execução deste trabalho, de maneira indireta e diretamente.

Á minha família que sempre prestou todo o suporte necessário durante todo o curso de graduação.

Á meu orientador Professor Msc. Dyorgge Alves Silva por todo conhecimento passado e auxílio em todas as partes práticas e teóricas realizadas neste trabalho.

Á todos os membros do corpo docente da instituição que ajudaram com dicas, ideias e sabedoria.

RESUMO

A utilização do concreto reforçado com fibras de aço é comumente associada para pavimentos, em especial os do tipo industrial, de tal forma, este trabalho aborda os efeitos da utilização do resíduo da usinagem do tipo cavaco no concreto, atuando como substituição ao material fibroso, para a finalidade estrutural dos pisos industriais, desta forma, propondo um material diferente para utilização em obras deste tipo, além de, uma nova destinação final para este resíduo. A análise é dada através da comparação de dois dimensionamentos para um pavimento industrial, que serão realizados com dimensões arbitradas e iguais, assim analisando os esforços máximos resistidos por eles, estes se diferenciam apenas pela sua composição, sendo o primeiro de concreto reforçado de fibras de aço comerciais e o segundo, de concreto reforçado pelo cavaco atuando como fibra de aço. Conforme análise executada, observou-se que, o concreto com as fibras de aço comerciais obtiveram, resultados superiores quando tratado das variáveis relacionadas a resistência a tração na flexão, enquanto o cavaco demonstrou resultados maiores quando relacionado a compressão, assim sendo, conclui-se que, não se pode substituir totalmente as fibras de aço por cavaco, porém dado os efeitos positivos na compressão, é de grande interesse a análise da substituição parcial destes materiais ou até mesmo dos agregados pelos resíduos de usinagem, por conta do comportamento observado nos ensaios, sendo curioso o estudo mais aprofundado de tais substituições para que assim seja possível executar estas obras com um custo reduzidos além de redução dos impactos ambientais.

Palavras-chave: pavimentos, fibras, cavaco, concreto.

ABSTRACT

The use of steel fiber reinforced concrete is commonly associated with the design of pavements, especially industrial floors, then, this work approach the effects of using steel chips residue in concrete, acting as a substitute for the fiber components in these structures, offering an alternative material for the reinforcement process of them and proposing a new destination for this type of steel waste. An analysis is made by comparing two industrial pavement projects, which will be built in concrete and with equal dimensions, analyzing the maximum stress resisted by them, both differing only in their composition, the first being reinforced with fibers of commercial steel and the second using the steel chips as a replacement material for the fibers. According to the analysis, the concrete with steel fibers obtained superior results related to the tensile strength in bending, while the steel chip reinforced concrete reached higher results related to compressive strength. Therefore, it is concluded that steel fibers cannot be totally replaced by the chips, however, given the positive effects on compression, it would be of great interest the analyze of the partial replacement of the steel fibers or even the concrete aggregates by the waste steel. Due to the behavior obtained in the tests, it is interesting to further study such replacements aiming the possibility of perform this type of construction with reduced costs, in addition to an eventual reduction of environmental impacts.

Keywords: pavements, steel fibers, steel chips, concrete.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação do cavaco segundo NBR ISO 3685:217	19
Figura 2 - Piso industrial antes da ocupação.....	21
Figura 3 - Componentes gerais dos pisos industriais.....	22
Figura 4 - Seção característica do pavimento com reforço de fibras.....	23
Figura 5 - Disposição geral do ensaio	26
Figura 6 - Fibras de aço	27
Figura 7 - Resíduo de usinagem tipo cavaco	27
Figura 8 - Medição A.....	31
Figura 9 – Medição B	31
Figura 10 – Amostras medidas.....	31
Figura 11 – Abatimento do tronco de cone -Cavaco	38
Figura 12 – Abatimento do tronco de cone – Fibras de aço.....	38
Figura 13 - Moldes com o concreto possuindo cavaco	39
Figura 14 - Moldes com o concreto possuindo fibras de aço	39
Figura 15 - Aspectos dos corpos de prova.....	40
Figura 16 - Preenchimento dos moldes e suportes laterais e superiores	41
Figura 17 – Aspecto dos corpos de prova prismáticos retirados dos moldes.....	41
Figura 18 - Entalhe executado nos corpos de prova	44
Figura 19 - Curva padrão para fibras de acordo com a NBR 16940	47
Figura 20 - Arranjo do ensaio e fissura típica.....	48
Figura 21 - Seção transversal do cavaco	49
Figura 22 - Seção transversal da fibra de aço.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estudos dos percentuais de mistura de areias (continua).....	28
Tabela 2 - Determinação do peso específico da areia	29
Tabela 3 - Peso específico da brita	30
Tabela 4 - Valores das medidas.....	32
Tabela 5 - Consumo traço inicial cavaco.....	37
Tabela 6 - Resistência à compressão calculada	42
Tabela 7 - Conversão do deslocamento vertical para os principais valores de CMOD	44
Tabela 8 - Resultados ensaio de resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos	47
Tabela 9 - Esforço cortante máximo calculado.....	50
Tabela 10 - Capacidade de momento final (M_u) e acréscimo na capacidade cortante (V_f).....	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	American Concrete Institute
cm ³	Centímetro Cúbico
g	Gramma
Kg	Quilograma
kN	KiloNewton
m ³	Metro Cúbico
ml	Mililitros
mm	Milímetro
mm ²	Milímetro quadrado
MPa	Mega Pascal
N	Newton
NBR	Norma Brasileira
NM	Norma Mercosul

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivo geral	14
1.2	Objetivos específicos	15
2	REFERÊNCIAL TEÓRICO	16
2.1	Concreto reforçado com fibras de aço	16
2.1.1	Aplicação em pavimento	17
2.2	Resíduo de usinagem do tipo cavaco	18
2.2.1	Classificação do cavaco	18
2.2.2	Destinação final	19
2.3	Pisos industriais	20
2.3.1	Composição estrutural.....	21
<u>2.3.1.1</u>	<u>Funções das camadas dos pisos industriais</u>	<u>22</u>
2.3.2	Pisos industriais reforçados com fibra	23
2.3.3	Dimensionamento proposto.....	23
2.4	Concreto reforçado com cavaco	24
3	MATERIAIS E MÉTODOS	25
3.1	Ensaio laboratoriais	25
3.1.1	Resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos	25
3.1.2	Resistência à compressão do concreto.....	26
3.2	Materiais utilizados	27
3.3	Caracterização dos materiais	28
3.3.1	Agregado miúdo	28
3.3.2	Agregado graúdo.....	29
3.3.3	Resíduos de usinagem do tipo cavaco	30
3.4	Dosagem do concreto	32
3.5	Moldagem e cura dos corpos de prova cilíndricos	33
3.6	Processo de mistura	34
3.7	Esforços calculados para os pisos industriais	34
3.8	Cálculo do consumo de cimento	36
3.9	Traço inicial	37
3.10	Preenchimento e adensamento dos corpos de prova cilíndricos	38
3.11	Preenchimento e adensamento dos corpos de prova prismáticos .	40
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	42

4.1	Ensaio de resistência à compressão.....	42
4.2	Ensaio de resistência à tração na flexão.....	43
4.3	Esforços solicitantes máximos calculados	50
5	CONCLUSÃO	51
	REFERÊNCIAS.....	52
	APÊNDICE A - COMPOSIÇÕES GRANULOMÉTRICAS DOS	
	AGREGADOS 54	
	APÊNDICE B – CARGAS DE RUPTURA DO ENSAIO A COMPRESSÃO	
	56	

1 INTRODUÇÃO

O concreto é um dos principais materiais utilizados na construção civil, possuindo um índice de consumo da ordem de 11 bilhões de toneladas métricas por ano mundialmente, mesmo não sendo tão resistente e duro quanto ao aço por exemplo (MEHTA; MONTEIRO, 2008)

A ampla utilização deste material na construção civil se dá ao menos por três razões principais, sendo a primeira, a excelente resistência à água, com relação a sua deterioração, se comparado com a madeira e o aço comum, podendo assim ser utilizado com uma maior facilidade em obras que envolvam armazenamento e controle de água, o segundo, é a diversidade das formas e tamanhos que elementos de concreto podem ser confeccionados, dado ao estado de consistência plástica em seu estado fresco, o qual facilita o preenchimento das formas de elementos estruturais, o terceiro motivo, está atrelado à sua acessibilidade como material de construção, uma vez que, os componentes para sua confecção - normalmente agregados miúdos e graúdos, o cimento e a água - possuem um custo acessível e ao mesmo tempo disponibilidade de mercado em diversos países, além destes três fatores principais, se comparado especificamente com o aço como material para uso na engenharia civil, vale-se considerar também, vantagens com relação a manutenção e as resistências do concreto ao fogo e carregamentos cíclicos. (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Dentre os diversos grupos e tipos de materiais que podem ser adicionados ao concreto, vale ressaltar os materiais de característica fibrosa, o uso destes materiais no concreto, é datado desde os tempos antigos, porém com relação aos usos mais recentes, é considerado inicialmente com a invenção do processo *Hatschek* em 1898, em que as fibras de amianto foram comercializadas em larga escala para utilização em pastas de cimento, mas devido aos perigos para à saúde posteriormente associados à mesma, está foi retirada de circulação do mercado, assim então, tipos de fibras alternativas como as de aço, polipropileno e de vidro foram introduzidas nas décadas de 1960 e 1970, sendo utilizadas e estudadas até os dias atuais (ACI COMITTE, 1996).

Apesar de não ser recomendado para obras de carácter estruturais em dias presentes, o concreto reforçado com fibras de aço, possui algumas propriedades interessantes à serem consideradas, como o aumento da capacidade de absorção de

energia após a fissuração, resistências ao impacto e à fadiga por flexão, por estas e outras características, muitas aplicações deste material moldadas in loco, envolvem lajes em formas de pavimentos ou pisos industriais, tendo como exemplo, mais de 1,9 milhões de metros quadrados de pisos industriais foram construídos na Europa até 1990, utilizando o concreto reforçado com fibras de aço (ACI COMITTE, 1996).

Além destes fatores, segundo Figueiredo (2000), *“as fibras de aço podem ser classificadas fibras de alto módulo de elasticidade. Logo podem ser consideradas como fibras destinadas ao reforço primário do concreto, ou seja, não se destinam ao mero controle de fissuração”*.

Durante os processos de usinagem, a forma e acabamentos das peças metálicas são obtidas por conta da retirada de material do tipo cavaco, este pode ser separado em três tipos, dependendo da geometria, os contínuos, descontínuos e segmentados (MACHADO *et al.*, 2015), dado aos aspectos geométrico, pode ser possível a utilização deste material como fibra no concreto.

Outro aspecto importante que justifica a utilização do cavaco no concreto é o ambiental, que segundo Dandolini (2001), as indústrias do setor metal mecânico, principalmente as de pequeno porte, tendem a se livrar de toda a responsabilidade deste material no meio, realizando a venda destes materiais pra terceiros, sendo que, alguns destes não possuem preparo para um correto manuseio destes resíduos, desta maneira ocorre então o despejo inadequado, com potenciais agressões ao meio.

Seguindo a premissa de que o cavaco pode atuar como uma fibra de aço no concreto, dada sua geometria e composição, este trabalho busca aplicar assim, sua utilização para uma das principais obras que envolvem o concreto reforçado com as fibras de aço convencionais, que são, os pisos industriais, desta forma apresentando um potencial material alternativo para estas obras, além de mostrar uma possível nova disposição final para este resíduo.

1.1 Objetivo geral

Este trabalho possui como seu objetivo geral, analisar o desempenho da substituição, em pavimentos do tipo industriais, das fibras de aço por resíduos de usinagem do tipo cavaco.

1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho estão citados abaixo, sendo eles:

- Analisar os ganhos e perdas de propriedades físicas e mecânicas do concreto, pela adição do cavaco atuando como material fibroso no mesmo;
- Determinar a viabilidade do dimensionamento do pavimento industrial utilizando-se dos resíduos de usinagem, comparando-o com as fibras de aço comerciais;
- Analisar o comportamento do cavaco no concreto;
- Analisar uma possível nova destinação final eficiente para estes tipos de resíduos, que não gere agressão ao meio ambiente, ou que pelo menos reduza-a.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 Concreto reforçado com fibras de aço

Para se ter um maior entendimento a respeito do concreto reforçado com fibras de aço, principalmente atrelado aos comportamentos mecânicos e as propriedades do material, primeiramente faz-se necessário compreender a definição atribuída para o concreto propriamente dito, desta forma então, o concreto moderno é um material denominado como compósito, em sua essência, formado por um meio aglomerante em que estão aglutinados fragmentos de agregado, de tal maneira que, no concreto de cimento hidráulico, a função de aglomerante é dada pela mistura de cimento hidráulico e água, o termo agregado se refere ao material com característica granular, sendo comumente separado nas definições de miúdo e graúdo, em que o primeiro se relaciona às particularidades de agregado inferiores a 4,75 mm mas superiores a 75 µm, sendo assim os graúdos como toda partícula de agregado superior a 4,75 mm (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

A definição de concreto como uma mistura utilizando o cimento hidráulico, a água e os agregados miúdos e graúdos, não considera um item a mais utilizado com certa frequência no concreto moderno, sendo estes os aditivos e adições, definidos como, os materiais que não são agregados, cimento e água, que são adicionados imediatamente antes ou depois da mistura, que tem por função a melhora de características ou propriedades específicas no concreto, podendo estas serem por exemplo, a trabalhabilidade, tempo de pega, durabilidade e redução de fissuração em determinadas situações (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

O concreto reforçado com as fibras de aço, de maneira geral, tem por definição ser um composto, feito a partir da mistura do concreto convencional, com as fibras de aço, atuantes como reforço para o mesmo, estas também sendo distribuídas uniformemente na mistura. O grau das melhorias que as fibras de aço podem entregar ao concreto está atrelado a alguns fatores, que incluem, a mistura do concreto, a idade desta, conteúdo de fibra utilizado e a geometria da fibra utilizada (AMIT; JOSHI, 2014).

As fibras de aço em especial, possuem dentre diversas propriedades uma que vale a ressalva, o seu alto módulo de elasticidade, sendo este o responsável pela dificuldade de propagação da fissuração, além disto, dado a capacidade pós

fissuração que o compósito possui, as fibras inseridas permitem a redistribuição dos esforços no material, mesmo quando estas estão presentes em teores baixos, está característica que torna interessante sua utilização para obras que envolvam pavimentos e revestimentos de túneis, por exemplo (FIGUEIREDO, 1997¹ *apud* FIGUEIREDO 2000, p. 11).

De tal forma assim, com relação as obras da construção civil utilizando o concreto reforçado com as fibras de aço, alguns fatores devem ser considerados, desta forma então, para que se tenha uma construção econômica e de qualidade utilizando este material, é necessário que todos os procedimentos que envolvem a mistura, a colocação, o acabamento e de qualidade sejam devidamente seguidos por todas as partes constituintes da obra, além disso, pode ser necessário o treinamento dos operários, para se obter resultados satisfatórios com este material, com relação aos equipamentos, os utilizados atualmente para construções envolvendo o concreto convencional, não necessitam de alteração para a mistura, colocação e acabamento (ACI COMITTE, 1996).

2.1.1 Aplicação em pavimento

A aplicação do concreto reforçado com fibras de aço, é interessante para as obras que envolvam os pavimentos, dentre estes, os industriais são os de maior interesse para este trabalho, porém com relação à este material que é utilizado, segundo Figueiredo (2000), existe atrelado a ele uma falta de conhecimento a respeito de suas características e informações de cunho básico, apresentando assim a necessidade de seu desenvolvimento, mas mesmo levando este fator em consideração, a utilização deste material, possui vantagens indiscutíveis com relação ao uso das telas de aço soldado (outro método construtivo para os pavimentos industriais).

As vantagens da utilização de fibras de aço com relação às telas metálicas são ordenadas a seguir como sendo; em primeiro, a inexistência da etapa de colocação de telas metálicas, reduzindo o tempo total da obra e de operários

¹ FIGUEIREDO, A.D.; CECCATO, M.R. e TORNERI, P. **Influência do comprimento da fibra no desempenho do concreto reforçado com fibras de aço**. 39ª REIBRAC. Instituto Brasileiro do Concreto. São Paulo. 1997. 10p

necessários para as etapas iniciais; em segundo, o ganho de espaço na obra, uma vez que, não mais é necessário estocar as armaduras no canteiro; em terceiro, se o concreto estiver com consistência adequada, o reforço é garantido em toda a espessura do pavimento, fator que não pode ser garantido quando utilizado das telas metálicas; em quarto, a facilidade para a execução das juntas de dilatação; em quinto; a acessibilidade do local da concretagem, e por fim, a não restrição da mecanização para a execução do pavimento, ainda assim, realizar o pavimento de concreto reforçado com as fibras de aço possui também desvantagens, sendo necessário cuidados com a cura e com acabamento, uma vez que, fibras podem ficar na superfície do concreto sendo susceptíveis à corrosão, atrapalhando o aspecto estético do mesmo.

2.2 Resíduo de usinagem do tipo cavaco

O cavaco é um resíduo sólido, gerado durante o processo de usinagem nas indústrias do setor metal mecânico, sendo seu estudo fundamental para um melhor entendimento de todas as etapas que ocorrem durante a usinagem, uma vez que, o acabamento e a forma final das peças metálicas são dados pela retirada deste material, de maneira geral, sua formação é dada em altas velocidades de deformação, que são seguidas pela ruptura do material da peça utilizada para a usinagem. As etapas responsáveis pela originação do cavaco são separadas em quatro, estas denominadas como sendo, o recalque inicial, a deformação e ruptura, o deslizamento das lamelas e ao final a saída do cavaco, estas etapas, em condições normais durante o processo de usinagem, ocorrem de maneira cíclicas e periódicas (MACHADO *et al.*, 2009).

2.2.1 Classificação do cavaco

Segundo Machado *et al.* (2009), os cavacos são classificados levando em consideração sua morfologia, podendo ser divididos em três tipos no geral, sendo estes, os contínuos, descontínuos e segmentados, sendo os contínuos aqueles formados usualmente pela usinagem de materiais dúcteis, como os aços de baixa liga, o alumínio e o cobre; os descontínuos, gerados dos materiais mais frágeis, sendo o

caso do bronze e do ferro fundido cinzento, por fim, os segmentados, que são caracterizados principalmente por grandes deformações continuadas em estreitas bandas entre segmentos com quase nenhuma deformação no interior.

Os cavacos também podem ser classificados quanto a sua forma, estas comumente separadas como sendo, em fita, helicoidais, em espiral e em lascas ou pedaços, de tal maneira, a forma do cavaco diz muito a respeito do processo de usinagem realizado e dos materiais utilizados durante o mesmo (MACAHDO et al., 2009), com relação as formas dos cavacos, estas foram abordadas de maneira mais detalhada na NBR ISO 3685:2017, conforme mostrado na Figura 1 abaixo.

Figura 1 - Classificação do cavaco segundo NBR ISO 3685:217

1 Cavaco em fita ^{a)}	2 Cavaco tubular ^{a)}	3 Cavaco tipo espiral	4 Cavaco tipo anéis helicoidais ^{a)}	5 Cavaco tipo cônico helicoidal ^{a)}	6 Cavaco em arco ^{b)}	7 Cavaco fragmentado	8 Cavaco agulha
1.1 Longo 	2.1 Longo 	3.1 Plano 	4.1 Longo 	5.1 Longo 	6.1 Conectado 		
1.2 Curto 	2.2 Curto 	3.2 Cônico 	4.2 Curto 	5.2 Curto 	6.2 Desconectado (virgula) 		
1.3 Emaranhado 	2.3 Emaranhado 		4.3 Curto 	5.3 Curto 			

FONTE: ABNT NBR ISO 3685:217.

2.2.2 Destinação final

O cavaco é classificado como um resíduo sólido pela NBR 10004, que define esse conjunto de elementos como sendo:

Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de

água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ABNT; 2004).

Assim sendo, de acordo com a lei n.º12.305/2010, da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), define o gerenciamento de resíduos sólidos como sendo, *“conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos”* (Inciso X, art. 3º)

. Após a geração do cavaco, este não possui mais utilidade para as empresas e é designado para o processo de reciclagem, sendo que, se descartado de forma inadequada, este pode ser prejudicial ao meio ambiente. De tal forma então, utilizar o cavaco atuando como uma fibra de aço no concreto, pode ser de interesse ambiental, e não apenas econômico, uma vez que, através deste processo, uma nova destinação final para este resíduo pode ser proposta para as empresas do ramo metal mecânico.

2.3 Pisos industriais

A definição para pisos industriais é apresentada por Carvalho e Pitta (1996², *apud* SENEFONTE, 2007, p. 12), como sendo estruturas que devem suportar em sua maioria solicitações diversas, em valor e tipo de atuação, de tal forma que, os projetos devem possuir grandes preocupações para a resolução de todas as situações possíveis para estas obras, Senefonte (2007, p. 12) entretanto considera esta conceituação como sendo genérica, em sua justificativa diz que, essa serve para qualquer elemento estrutural de uma edificação, além de que, as ditas “preocupações exageradas” não necessitam de ser consideradas para alguns tipos de pisos industriais, sendo assim o autor propõe a seguinte redefinição para estes elementos:

Pisos industriais são estruturas horizontais, continuamente apoiadas, que devem suportar, na maior parte das vezes, solicitações diferenciadas em magnitude, tipo e forma de atuação tais como carregamentos dinâmicos – tráfego de

² Carvalho, M. D.; Pitta, M. R. – **Pisos Industriais de Concreto – Parte I – Dimensionamento de Pavimentos de Concreto Simples** – ABCP- Associação Brasileira de Cimento Portland – Estudo Técnico 52 – São Paulo - 1996

equipamentos e veículos – e estáticos – cargas derivadas de estocagem de matérias primas ou produtos acabados.

De tal forma então a Figura 2, tem por objetivo a demonstração deste elemento estrutural antes de sua devida ocupação.

Figura 2 - Piso industrial antes da ocupação

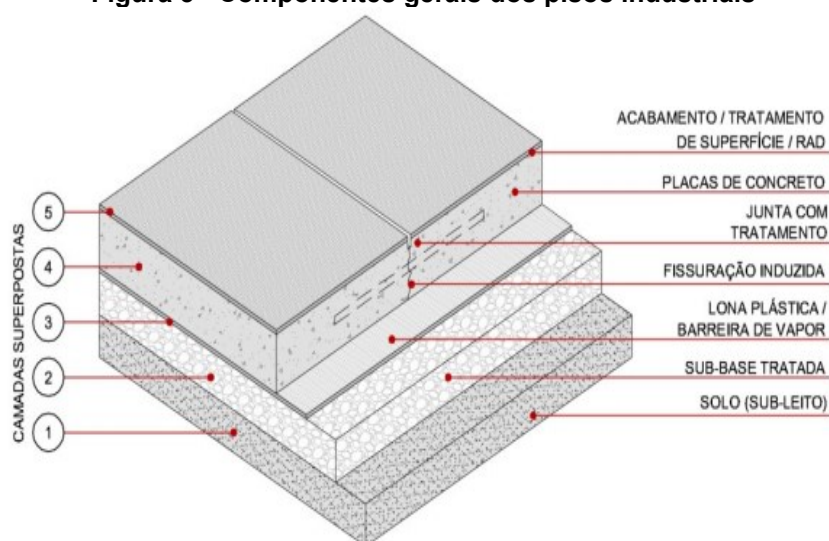


FONTE: The Concrete Society (2015)

2.3.1 Composição estrutural

Com relação à composição, os pisos industriais são compostos geralmente por cinco camadas principais, estas sendo superpostas entre si, possuindo cada uma sua funcionalidade específica, estas camadas também podem ser denominadas como *layers* por alguns profissionais da área, em casos específicos também, pode se fazer necessário inserção de uma ou mais camadas, visando assim o combate de eventuais problemas (CRISTELLI; 2010). A Figura 3 abaixo ilustra as principais camadas de um piso industrial.

Figura 3 - Componentes gerais dos pisos industriais



FONTE: Cristelli (2010)

2.3.1.1 Funções das camadas dos pisos industriais

Para um maior entendimento a respeito de como cada elemento atua nos pisos industriais, terá como base o dito por Cristelli (2010) que organiza e define as finalidades de cada uma das cinco camadas citadas acima de tal maneira:

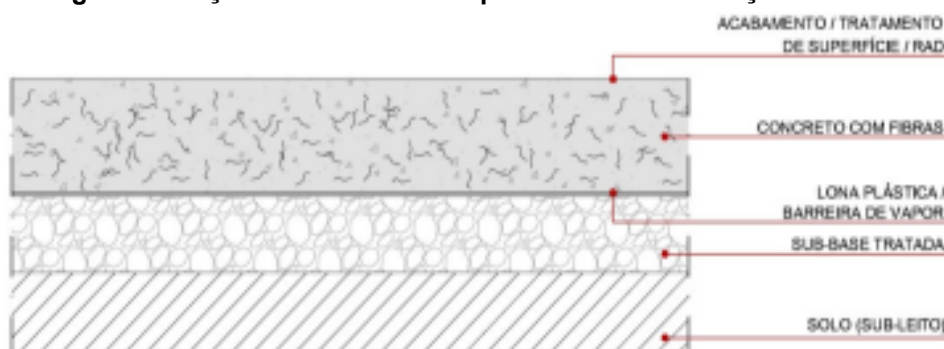
- Solo (base) / Subleito: tem por características, a absorção das cargas impostas no pavimento, controle do recalque e a capacidade de suporte;
- Sub-base: suas principais atribuições no sistema estrutural estão relacionadas com a isolação e estabilizações das condições do subleito, o suporte, sendo este dado de maneira uniforme e constante, o controle das variações do subleito e o impedimento de bombeamento;
- Lona plástica / barreira de vapor: tem como premissa, garantir a impermeabilização da superfície, assim sendo, evita umidade ascendente nas placas de concreto, também garante a livre movimentação da placa de concreto com a sub-base e por fim, garante a hidratação do cimento, uma vez que, evita que a água de amassamento seja perdida para a sub-base;
- Placas de concreto: necessárias para absorção dos esforços provenientes dos carregamentos, transferindo-os para a fundação, possui como característica o regime elástico de atuação, além disto, tem por função servir de base para aplicação dos revestimentos;

- Acabamento / tratamento de superfície / RAD: principal objetivo é a de acabamento superficial e conforto do usuário, estas dadas de acordo com a demanda de utilização.

2.3.2 Pisos industriais reforçados com fibra

Este tipo de pavimento tem por condição, a substituição das armaduras estruturais e as armaduras de retração, pela adição de fibras de aço ou fibras sintéticas diretamente no concreto, sendo que estas, devem ser dosadas e escolhidas de acordo com as solicitações que o piso estará sendo submetido (SENEFONTE; 2007). A seção transversal característica deste tipo de pavimento está representada a seguir na Figura 4.

Figura 4 - Seção característica do pavimento com reforço de fibras



FONTE: Cristelli (2010)

2.3.3 Dimensionamento proposto

No Brasil, a partir da década de 1990, houve um crescente aumento das exigências para os pisos industriais, envolvendo assim por consequência, as etapas de projeto. Dentre os métodos existentes, dois valem ser destacados, sendo estes os propostos pelas escolas norte-americana e a europeia, a diferença entre estas está relacionado quanto a estrutura proposta, enquanto a primeira possui um ênfase maior no concreto simples sem reforços estruturais, a escola europeia possui um foco maior no concreto reforçado, seja por telas, emprego de fibras de alto módulo e a protensão, de tal forma, a diferença estrutural proposta pelas duas escolas possuem uma diferença a ser considerada, uma vez que, a norte-americana propõe placas com

elevada rigidez com pequenas dimensões, em contrapartida a europeia, dimensiona placas maiores, sendo assim, mais esbeltas, a partir desta escola que se têm os pavimentos do tipo *Jointless*, em que as placas podem ter mais de 500 m² (IBTS; 2015).

Para o dimensionamento proposto neste trabalho, será utilizado como base todas as orientações prescritas no documento elaborado pela “*The Concrete Society*” intitulado como “*CONCRETE INDUSTRIAL GROUND FLOORS – A guide to design and construction*”, sendo este material de acordo com as premissas elaboradas pela escola europeia, de maneira geral, será feito uma análise comparativa dos esforços máximos que o pavimento será capaz de suportar, as propriedades necessárias para a obtenção destes são, as resistências a compressão e a tração por flexão, que serão determinadas conformes as normas vigentes, descritas nos próximos tópicos.

2.4 Concreto reforçado com cavaco

A utilização de cavaco como reforço para o concreto já foi experimentada por determinados autores, como o exemplo o trabalho realizado por Dias *et. al.* (2021), em que foi proposto análise do comportamento do concreto que foi reforçado com cavacos de aço e de alumínio, utilizando como parâmetro a resistência à tração por compressão diametral, desta maneira foi observado que, com relação aos cavacos de alumínio, estes pouco influíram nas propriedades do concreto, porém, se tratando dos cavacos de aço, o concreto obteve um aumento de 19% em sua resistência a tração.

Com relação a resistência a compressão do concreto quando utilizado do cavaco em sua composição, Zenere e Cassil (2017), realizaram o estudo da adição deste resíduo em substituição a parte do agregado miúdo na matriz do concreto, e analisaram a variação dos valores para a resistência a compressão, concluindo assim que, quando substituído até 10% do agregado miúdo pelo cavaco de aço, não há alteração desta resistência de maneira efetiva, uma vez que, aos 28 dias o concreto sem os cavacos obteve 40,40 MPa de resistência à compressão, enquanto o concreto reforçado com os cavacos obteve 40,50 MPa.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Ensaio laboratoriais

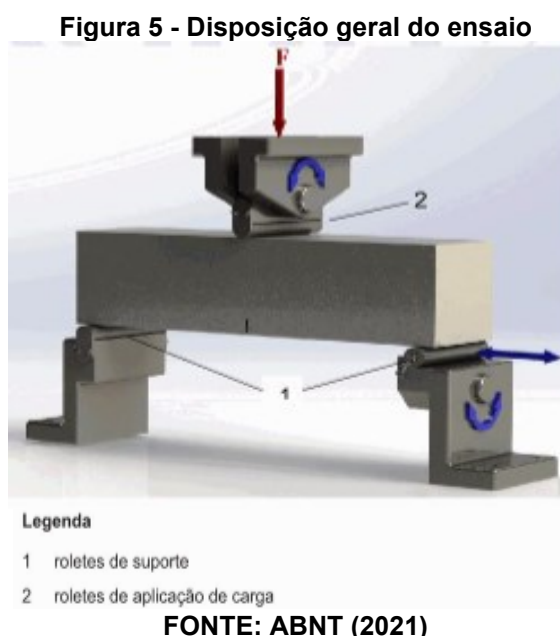
Os ensaios laboratoriais são de fundamental importância para a obtenção das resistências dos materiais e análise de seus comportamentos mecânicos, sendo no caso deste trabalho, a resistência a compressão e a resistência à tração na flexão, como as de interesse, e o material utilizado, o concreto reforçado com fibras de aço e o concreto reforçado com cavaco atuando como fibra de aço. Os ensaios consistem basicamente na aplicação de um carregamento até determinado momento, observando e anotando os parâmetros que forem necessários, devem também, ser executados de acordo com as normas vigentes, de tal forma serão utilizadas, de acordo com o pressuposto para este trabalho, a norma MERCOSUL NM 101, “Concreto – Ensaio de compressão em corpos de prova cilíndricos”, e a norma brasileira NBR 16940, “Concreto reforçado com fibras – Determinação das resistências à tração na flexão (limite de proporcionalidade e resistências residuais) – Método de ensaio”.

3.1.1 Resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos

Para a determinação da resistência à tração na flexão do concreto reforçado com fibras é utilizada a NBR 16940, publicada em 2021, sendo assim de acordo com a ABNT (2021), a norma tem como objetivo a determinação de um método para o ensaio que avalia o comportamento mecânico na flexão, para os concretos reforçados com fibra, obtendo assim ao final de todos os procedimentos, a resistência deste à tração, tendo como as referências normativas a ABNT NBR 5738, “Concreto – procedimentos para moldagem e cura de corpos de prova” e a ABNT NBR NM ISO 7500-1, “Materiais metálicos – Calibração e verificação de máquinas de ensaio estático uniaxial – Parte 1: Máquinas de ensaio de tração/compressão – Calibração e verificação do sistema de medição de força”.

O ensaio é realizado em corpos de prova prismáticos, estes possuindo dimensões especificadas, assim como as tolerâncias para estas, consiste, de maneira geral, na aplicação da carga até que ocorra a abertura de um entalhe (executado no

corpo de prova de acordo com a norma) para medidas pré-determinadas. A Figura 5 abaixo, ilustra a disposição do corpo de prova bem como da máquina utilizada no ensaio para aplicação da carga.



3.1.2 Resistência à compressão do concreto

Para a obtenção da resistência à compressão dos traços elaborados por este trabalho serão utilizadas as premissas que são abordadas pela norma NM 101, publicada em 1997, conforme o *Comité Mercosur de Normalización* (1997), a norma tem como objetivo principal a determinação da resistência à compressão característica do concreto, suas referências normativas são, de acordo com o prescrito na norma, a NM 69:96, “Concreto endurecido – Extração, preparação e ensaio de testemunhos de estruturas de concreto”, a NM 77:96, “Concreto – Preparação das bases de corpos de prova e testemunhos cilíndricos para ensaio de compressão”, o Projeto de Norma MERCOSUL 05:03-0136, “Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova” e a NBR 6156/83, “Máquina de ensaio de tração e compressão – Verificação”.

O ensaio é realizado em corpos de prova com formatos do tipo cilíndricos, com dimensões específicas, assim como também as suas tolerâncias, onde é aplicado uma carga controlada através de uma prensa hidráulica, com valores atribuídos para

a carga e seu controle também prescritos em norma, até que ocorra a ruptura do corpo de prova, anotando assim a carga máxima alcançada, está sendo necessária para o cálculo final da resistência a compressão característica do material.

3.2 Materiais utilizados

Os materiais utilizados para o propósito deste trabalho foram, agregado miúdo, do tipo areia, agregado graúdo, sendo a pedra britada, Cimento Portland do tipo CP-II-F-32, fibras de aço comerciais e o resíduo de usinagem do tipo cavaco, todos foram devidamente caracterizados conforme necessidade, isto é, as propriedades necessárias para auxiliar as correções do traço bem como para o cálculo do consumo de cimento foram determinadas de maneira experimental e conforme as normas vigentes.

Figura 6 - Fibras de aço



FONTE: Autoria própria (2021)

Figura 7 - Resíduo de usinagem tipo cavaco



FONTE: Autoria própria (2021)

3.3 Caracterização dos materiais

Os materiais foram caracterizados com o objetivo de maior entendimento dos mesmos, bem como para a determinação do consumo de cimento para os traços, de tal forma, para o agregado miúdo e graúdo foram determinados as curvas granulométricas e pesos específicos conforme as normas, enquanto que para o cavaco, este foi classificado conforme norma além de medições de suas dimensões características.

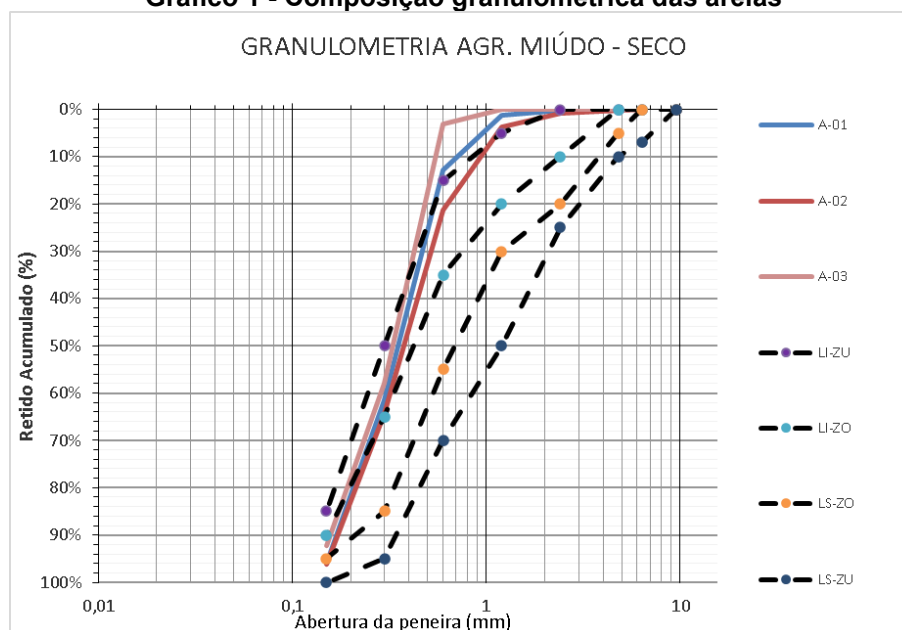
3.3.1 Agregado miúdo

A composição granulométrica foi realizada seguindo as orientações prescritas na NBR NM 248 “Agregados – Determinação da Composição Granulométrica”, a instituição dispôs de três diferentes tipos de areia, denominadas como A-01, A-02 e A-03, após a determinação da granulometria destas areias, foi determinado a composição ideal para cada areia, com o intuito de que a granulometria final ficasse o mais próximo dos limites superior e inferior das zonas ótimas ou utilizáveis, de tal forma o resultado final desta análise está mostrado na Tabela 01, bem como, no Gráfico 01 está representado a curva granulométrica das 3 areais juntamente com a representação do limite superior com a zona ótima (LS-ZO) e zona utilizável (LS-ZU) e o limite inferior com a zona ótima (LI-ZO) e a zona utilizável (LI-ZU).

Tabela 1 - Estudos dos percentuais de mistura de areias

Peneira		A-01	A-02	A-03	LS-ZU	LI-ZU	C. Média	C. Proj
mm	#	% Passante Acumulada						
6,35	3/8"	100,00%	100,00%	100,00%	7%	0%	4%	0%
4,8	4	100,00%	99,82%	100,00%	10%	0%	5%	0%
2,4	8	99,82%	99,23%	100,00%	25%	10%	18%	1%
1,2	16	98,84%	96,23%	100,00%	50%	20%	35%	4%
0,6	30	87,21%	78,74%	96,89%	70%	35%	53%	21%
0,3	50	38,60%	35,66%	42,14%	95%	65%	80%	64%
0,15	100	4,09%	3,82%	7,74%	100%	90%	95%	96%
Fundo		0,00%	0,05%	0,30%	100%	95%	98%	100%
Percentuais Mistura		0,00%	100,00%	0,00%				
Soma		100,00%						

FONTE: Elaborado pelo autor (2021)

Gráfico 1 - Composição granulométrica das areias

Determinada a areia a ser utilizada em seguida foi realizado a determinação do peso específico da mesma conforme NBR 9776, utilizando do frasco de Chapman, realizadas 3 medições distintas, e o peso específico determinado conforme média destes resultados, sendo assim, o resultado final encontrado foi de $2,73 \text{ g/cm}^3$, as leituras podem ser observadas na Tabela 2 abaixo.

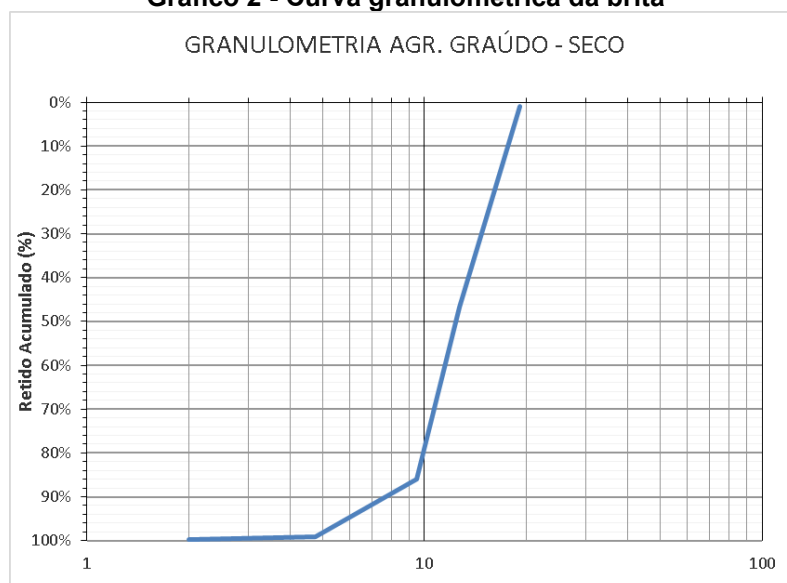
Tabela 2 - Determinação do peso específico da areia

Variável	Valor	Unidade
γ_{med}	2,73	g/cm^3

FONTE: Elaborado pelo autor (2021)

3.3.2 Agregado graúdo

O agregado graúdo utilizado foi a pedra britada, este possuía apenas um tipo de amostra, de tal forma, não foi necessário o estudo de otimização de mistura como visto para as areias, para a amostra disponível foi realizado o ensaio da composição granulométrica conforme NBR NM 248 e a determinação do peso específico conforme NM 53, sendo assim, os resultados quanto a granulometria podem ser observados no Gráfico 2 e para o peso específico na Tabela 3 abaixo, a classificação para o agregado foi “Brita 01” com um peso específico de $2,7 \text{ g/cm}^3$.

Gráfico 2 - Curva granulométrica da brita

FONTE: Elaborado pelo autor (2021)

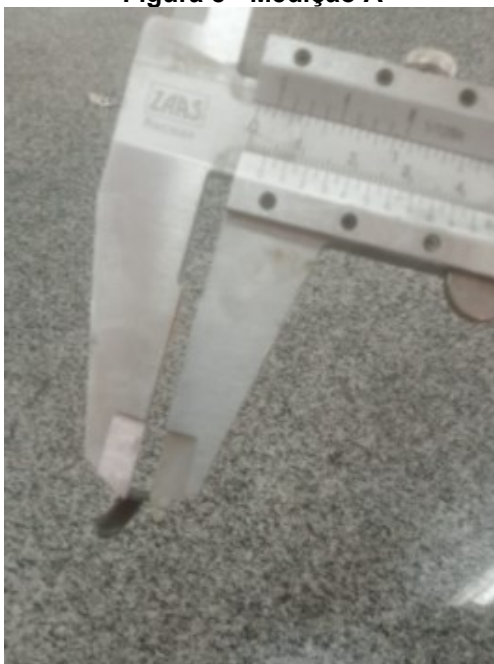
Tabela 3 - Peso específico da brita

Variável	Valor	Unidade
γ_{brita}	2,70	g/cm ³

FONTE: Elaborado pelo autor (2021)

3.3.3 Resíduos de usinagem do tipo cavaco

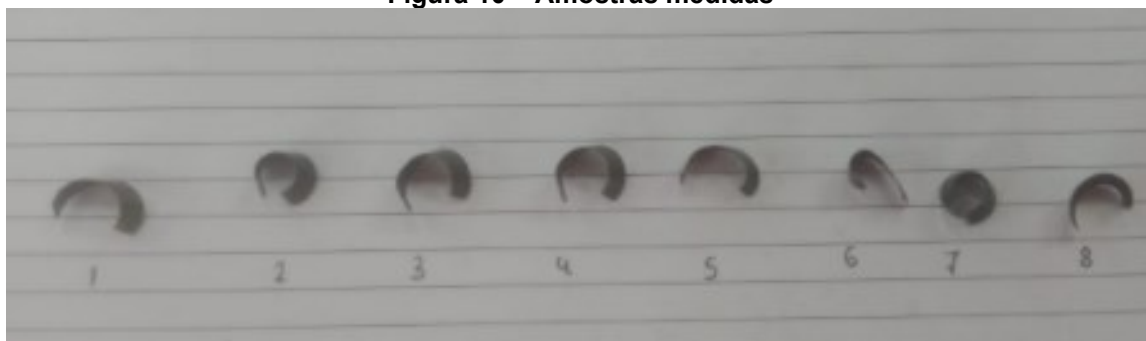
Para o resíduo de usinagem disponível a caracterização inicial foi feita conforme NBR ISO 3685:2017, conforme Figura 1, sendo assim, foi classificado como sendo do tipo 6.2, “Cavaco em arco – Desconectado (vírgula)”, foram realizadas também medições de suas dimensões características, sendo a medição denominada como A aquela do comprimento do cavaco exemplificada na Figura 8, e a medição B o diâmetro aproximado do material, conforme Figura 9, de tal forma os resultados destas medições estão contidos na Tabela 4, foram executadas as medições de 8 amostras conforme Figura 10, as médias para estas dimensões foi de 4,44 mm para A, e B de 9,43 mm

Figura 8 - Medição A

FONTE: Autoria própria (2021)

Figura 9 – Medição B

FONTE: Autoria própria (2021)

Figura 10 – Amostras medidas

Fonte: Autoria própria (2021)

Tabela 4 - Valores das medidas

Amostra	MED. A (mm)	MED. B (mm)
1	4,00	11,70
2	4,30	8,70
3	4,65	9,10
4	4,60	9,10
5	4,40	11,90
6	4,40	5,65
7	4,65	7,80
8	4,55	11,50
Média	4,44	9,43

FONTE: Elaborado pelo autor (2021)

3.4 Dosagem do concreto

A dosagem do concreto reforçado com fibras foi realizada com base em bibliografia existente, inicialmente buscando-se a resistência a compressão de 30 MPa, vale salientar que este traço inicial foi considerado como teórico apenas, sendo utilizado de correções para suas propriedades, como por exemplo, a trabalhabilidade e a consistência, executadas conforme necessidades encontradas, desta forma então, os dois traços executados, sendo o concreto reforçado com fibras de aço e o concreto reforçado com cavaco atuando como fibra de aço, possuem a mesma base, porém não necessariamente as mesmas correções, uma vez que, tanto as fibras de aço comerciais como os resíduos de usinagem do tipo cavaco podem influir de maneira diferente nas propriedades no estado fresco do concreto, vale evidenciar também a quantidade de corpos de prova que foram confeccionados, sendo ao todo definidos como 24 cilíndricos e 6 prismáticos, divididos igualmente entre o traço contendo fibras de aço e o traço contendo cavaco.

Como este trabalho possui a premissa de buscar aplicar o cavaco no concreto, atuando como fibra de aço, o traço inicial teórico considerado foi um dos que foram experimentados por Figueiredo (2000), este autor determinou as características e propriedades de traços que buscavam diversas resistências finais, com os teores de fibras diferentes, utilizadas apenas as de aço em seus estudos, considerando os teores sendo, 0 kg/m³, 20 kg/m³, 30 kg/m³ e 40 kg/m³, sendo a massa relacionada às

fibras e o volume ao concreto, desta forma, o traço adotado terá um teor de fibras igual a 40 kg/m^3 , relação água cimento de 0,5 e consumo de agregados de 1,77 kg e 2,55 kg para cada 1 kg de cimento utilizado, sendo o primeiro referente ao agregado miúdo e o seguinte ao agregado graúdo.

3.5 Moldagem e cura dos corpos de prova cilíndricos

A principal referência a ser considerada, para uma moldagem adequada dos corpos de prova, bem como o respectivo processo de cura, é a NBR 5738:2015, norma intitulada como “Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova”, de tal maneira, segundo ABNT (2015), os moldes utilizados devem ser de aço ou outro material não absorvente, que não possua reação com o Cimento Portland, sendo resistentes o suficientes para manter a forma durante a moldagem, além de permitir a desmoldagem sem interferência na geometria do corpo de prova, com relação ao adensamento dos corpos de prova essa deve ser definida conforme resultados do ensaio de abatimento, utilizando-se da NBR NM 67 como referência para sua execução, o processo de adensamento pode ser realizado de duas maneiras, sendo mecânico, com auxílio de vibradores que atendam as especificações da norma, e de maneira manual, assim realizando este processo com uma haste de adensamento, feita de aço, com forma cilíndrica e superfície lisa, com 16 mm de diâmetro (tolerância de 0,2 mm para mais ou para menos) e comprimento entre 600 mm e 800 mm.

Ainda segundo a ABNT (2015), a cura inicial para os corpos de prova deve ser realizada após a moldagem, onde estes são colocados sobre superfície horizontal rígida, sem vibrações ou ações que perturbem o concreto, sendo a duração determinada conforme sua geometria, sendo de tal forma, 24h para corpos de prova cilíndricos e 48h para os prismáticos, além disto, devem ser protegidos de intempéries, após a cura inicial, deve se realizar o desmolde de todos, e estes devem ser levados para o processo de cura a ser utilizado.

Desta forma então, os moldes disponíveis para utilização no laboratório da instituição e que foram utilizados, estão todos de acordo com o prescrito na norma, além disto, com respeito ao processo de cura, será utilizado do tipo submersa, realizada em caixa da água, está presente na instituição e adequada para a utilização,

o processo de cura total será de feito durante 28 dias, sendo executados ensaios aos 14, 21 e 28 dias nos corpos de prova cilíndricos e 28 dias para os prismáticos.

3.6 Processo de mistura

Para o processo de mistura dos traços de concreto, foi utilizado de uma betoneira de 300 Litros, inicialmente é recomendado o equipamento ser imprimado, isto é, por cerca de 2 minutos executado uma mistura de cimento e água na proporção 1:1, esta etapa tem por premissa otimizar o processo de confecção dos traços finais, evitando que o equipamento absorva água durante a execução destes, finalizando esta etapa então, devem ser inseridos inicialmente o agregado graúdo juntamente com as fibras de aço ou o cavaco (conforme o traço a ser executado), misturados por aproximadamente 30 segundos, após, inclusão de 1/3 de água, 30 segundos depois serão colocados o cimento juntamente com mais 1/3 de água, deixando a betoneira rodando por cerca de 1 minuto, finalizando este ciclo é adicionado o agregado miúdo e por fim depois de 30 segundos adicionado o restante da água deixando o processo de mistura total ocorrendo em cerca de 5 minutos, e então executada uma análise inicial tátil-visual dos concretos para determinar a necessidade de correções ou não dos mesmo, bem como esta pode ser realizada.

3.7 Esforços calculados para os pisos industriais

O dimensionamento será com base na escola europeia como já mencionado anteriormente no tópico 2.3.1, primeiramente, foram obtidos os dados referentes as resistências a compressão e a tração na flexão média dos dois concretos, para então calcular os esforços limites que estes suportam se utilizados nos pavimentos industriais, segundo o que é instruído pelo "*CONCRETE INDUSTRIAL GROUND FLOORS – A guide to design and construction*", o cálculo do momento máximo suportado pelo pavimento, depende de sua espessura, e de resultados obtidos no ensaio de resistência à tração na flexão, é dado pela Equação 1 a seguir.

$$M_u = \frac{h^2}{\gamma_m} (0.29\sigma_{r4} + 0.16\sigma_{r1}) \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

M_u é a capacidade de momento final;

h é a espessura da laje de projeto;

γ_m é o fator de segurança para o material, constante de valor 1,4;

σ_{r1} é a capacidade do momento residual, obtido no ensaio de resistência à tração na flexão, obtido pela multiplicação da força resistência residual à tração na flexão do $CMOD_1$ (ensaio executado com controle de medida da abertura do entalhe) pelo coeficiente 0,45;

σ_{r4} é a capacidade do momento residual, obtido no ensaio de resistência à tração na flexão, obtido pela multiplicação da força resistência residual à tração na flexão do $CMOD_4$ (ensaio executado com controle de medida da abertura do entalhe) pelo coeficiente 0,37.

Para o cálculo do esforço cortante máximo a ser suportado, é utilizado dos resultados obtidos no ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos, usando da Equação 2 abaixo para sua determinação.

$$v_{max} = 0,5 k_2 f_{cd} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

v_{max} é o valor máximo da tensão de cisalhamento;

f_{cd} é a resistência de projeto a compressão do concreto, obtido pelo ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos;

k_2 é calculado como sendo, $K = 0,6(1 - f_{ck}/250)$;

f_{ck} é a resistência característica do concreto, obtido no ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.

Outro parâmetro que também a ser calculado é o incremento da resistência ao cisalhamento no concreto pela adição das fibras, onde se utiliza necessariamente dos resultados obtidos no ensaio de resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos, estes sendo de acordo com a Equação 3.

$$v_f = 0,015(f_{r1} + f_{r2} + f_{r3} + f_{r4}) \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

v_f é o acréscimo na resistência ao cisalhamento no concreto reforçado com fibras;

f_{r1} é a resistência residual á flexão, obtido no ensaio de resistência à tração na flexão, com $CMOD$ 0,5;

f_{r2} é a resistência residual á flexão, obtido no ensaio de resistência à tração na flexão, com CMOD 1,5;

f_{r3} é a resistência residual á flexão, obtido no ensaio de resistência à tração na flexão, com CMOD 2,5;

f_{r4} é a resistência residual á flexão, obtido no ensaio de resistência à tração na flexão, com CMOD 3,5.

Desta forma então, foram calculados todos estes parâmetros para os dois traços de concreto, então realizadas as comparações entre eles, com intuito de determinar a diferença de resistências obtidas pela substituição das fibras de aço comerciais pelos resíduos de usinagem do tipo cavaco, demonstrando assim se é possível ou não realizar esta substituição na prática. Com relação as premissas de cálculo, vale notar que, a Equação 1 necessita de informações geométricas das placas de concreto utilizadas no pavimento, desta forma, como este trabalho não tem por propósito um dimensionamento de um caso específico, as dimensões da placa serão arbitradas, com valores condizentes com a realidade e iguais para os dois casos.

3.8 Cálculo do consumo de cimento

O cálculo do consumo de cimento em massa por unidade de volume de concreto produzido para os dois traços iniciais teóricos, é expresso pela Equação 04 abaixo, vale notar que está dependo dos pesos específicos dos materiais, bem como da proporção de cada um em relação ao cimento, além disto, tanto o consumo de fibras de aço quanto o de cavaco foram determinados em massa com relação ao volume de concreto produzido, desta forma não entram no cálculo do consumo de cimento.

$$C = \frac{1000}{\frac{1}{\gamma_c} + \frac{a}{\gamma_a} + \frac{b}{\gamma_b} + \frac{c}{\gamma_c}} \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

C é o consumo de cimento em Kg/m³;

γ_c é o peso específico do cimento em g/cm³;

γ_a é o peso específico da areia em g/cm³;

γ_b é o peso específico da brita em g/cm³;

a é o valor do consumo de areia no traço unitário;

b é o valor do consumo de brita no traço unitário;

a/c é a relação água cimento do traço.

O valor para o peso específico do cimento foi obtido através do fabricante com valor sendo de 3,0 g/cm³, de tal forma então o consumo de cimento calculado para este traço com os materiais disponíveis foi de 411,91 Kg de cimento por metro cúbico de concreto.

3.9 Traço inicial

Foram executados dois traços teóricos iniciais, diferenciando-se entre si pela composição, em que, o primeiro possui a adição de cavaco, e o segundo de fibras de aço comerciais, a execução destes traços iniciais tem como fundamento observar possíveis correções e análise do aspecto geral, antes da execução do traço final a ser ensaiado, por esta razão estes dois traços foram produzidos apenas para dois corpos de prova cilíndricos.

O consumo de materiais para o traço inicial de cavaco e de fibras de aço para os dois corpos de prova pode ser observado na Tabela 5 abaixo, considerando o valor do consumo de cimento obtido anteriormente.

Tabela 5 - Consumo traço inicial cavaco

TRAÇO 01 - 2 CPS				
Volume Total (m³)	0,0031			
Volume + 30%	0,0041			
Material	Traço Unitário	Quantidade (kg)	Correção 01	Correção 02
Cimento CP II	1	1,68		
Areia	1,77	2,98		
Brita 01	2,55	4,29		
Água	0,5	0,84	-	-
Aditivo	0	0,00		
Cavaco ou Fibras de aço (40 kg/m ³)	-	0,16		

FONTE: Elaborado pelo autor (2021)

Os traços possuindo tanto cavaco como fibras de aço não apresentaram nenhuma necessidade de correção em seu processo de mistura, apresentando um aspecto consistente, foi realizado o *Slump-Test* com o intuito de análise da trabalhabilidade, possuindo um abatimento de 5,8 cm para o traço contendo cavaco e

4,5 cm para o traço contendo as fibras de aço, sendo observado na Figura 11 e 12 abaixo, de tal forma então, o traço teórico inicial será utilizado como traço final sem nenhuma alteração necessária.

Figura 11 – Abatimento do tronco de cone -Cavaco



FONTE: Autoria própria (2021)

Figura 12 – Abatimento do tronco de cone – Fibras de aço



FONTE: Autoria própria (2021)

3.10 Preenchimento e adensamento dos corpos de prova cilíndricos

Foram confeccionados 24 corpos de prova cilíndricos totais para o traço contendo fibras de aço e o possuindo cavaco, de tal forma então, 12 para cada traço,

estes serão utilizados para o ensaio de resistência a compressão aos 14, 21 e 28 dias, sendo ensaiados 4 por data, com relação ao preenchimento dos corpos de prova está se deu de maneira manual, retirado o material da betoneira após a mistura e inserido até ocupar um terço de volume do molde e então realizado o adensamento manual com haste metálica apropriada (equipamento disponível) com 25 golpes, este processo sendo repetido 3 vezes, após estes, o restante do molde foi preenchido até sua totalidade e o acabamento dado de forma manual, o aspecto dos concretos no molde pode ser observado nas Figuras 13 e 14, enquanto o aspecto final após a retirada dos corpos de prova dos moldes pode ser observada na Figura 15 (o grupo a esquerda possuindo fibras de aço e a direita cavaco).

Figura 13 - Moldes com o concreto possuindo cavaco



FONTE: Autoria própria (2021)

Figura 14 - Moldes com o concreto possuindo fibras de aço



FONTE: Autoria própria (2021)

Figura 15 - Aspectos dos corpos de prova**FONTE: Autoria própria (2021)**

3.11 Preenchimento e adensamento dos corpos de prova prismáticos

Para o preenchimento dos corpos de prova prismáticos foi seguido as recomendações da NBR 16940, em que o incremento central deve possuir o dobro dos incrementos laterais até aproximadamente 90% do volume do molde, com relação ao adensamento, este foi adaptado por falta de equipamento adequado para sua execução, sendo assim, este foi feito através de golpes com haste metálica em toda a extensão dos moldes, ao todo foram utilizados 50 golpes por corpo de prova distribuídos igualmente, após este processo foi preenchido outra camada até 100% aproximadamente do volume do molde e desferidos mais 50 golpes, por fim foi preenchida a última camada e o acabamento dado de maneira manual, conforme um molde era preenchido eram colocados suportes no molde adjacente a fim de evitar aberturas na madeira que comprometessem as dimensões dos corpos de prova, além de ao fim era colocado um suporte na parte superior para ajudar a manter as medidas necessárias, o suportes laterais e superior descritos podem ser observados na Figura 16 abaixo, enquanto a Figura 17 mostra o aspecto final dos corpos de prova retirados do molde após 24 horas.

Figura 16 - Preenchimento dos moldes e suportes laterais e superiores



FONTE: Autoria própria (2021)

Figura 17 – Aspecto dos corpos de prova prismáticos retirados dos moldes



FONTE: Autoria própria (2021)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Ensaio de resistência à compressão

Todos os corpos de prova foram retirados da câmara úmida com 1 hora de antecedência para serem retificados com equipamento adequado, sendo que os ensaios a compressão dos corpos de prova cilíndricos foram realizados aos 14, 21 e 28 dias, sendo executados em 4 corpos de prova por traço e idade, sendo descartado o menor valor, os valores médios e desvio padrão das cargas de ruptura podem ser observadas no APÊNDICE B.

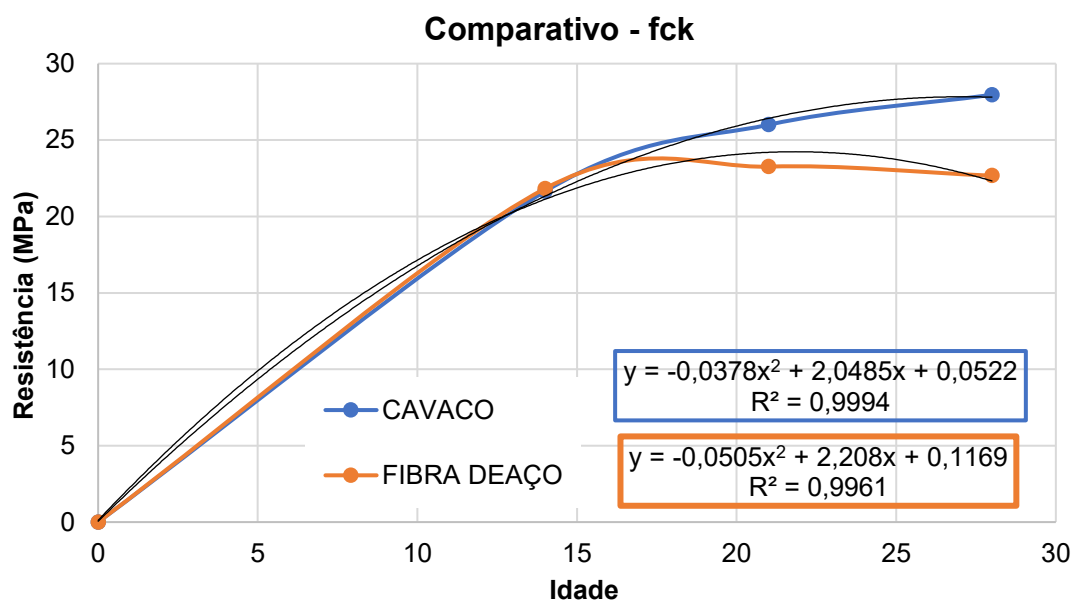
O procedimento para o cálculo da resistência a compressão (f_{ck}) foi realizado tendo base os valores médios das cargas de ruptura e o desvio padrão para cada idade, em seguida este resultado foi dividido pelo coeficiente de 1,4 (relacionado ao concreto) para obtenção da resistência característica de projeto (f_{cd}), a Tabela 6 mostra os valores obtidos, assim como, o Gráfico 03 compara os valores obtidos ao longo do tempo.

Tabela 6 - Resistência à compressão calculada

Idade	Tipo	Fck (MPa)	Fcd (MPa)
14	Cavaco	21,6	13,11
	Fibra de aço	21,8	13,24
21	Cavaco	26,0	15,79
	Fibra de aço	23,3	14,15
28	Cavaco	28,0	17,00
	Fibra de aço	22,7	13,78

FONTE: Elaborado pelo autor (2021)

Gráfico 3 - Comparação entre os traços de cavaco e fibra de aço



FONTES: Elaborado pelo autor (2021)

4.2 Ensaio de resistência à tração na flexão

A Figura 18 mostra os entalhes nos corpos de prova que foram executados conforme NBR 16940 tendo uma espessura aproximadamente de 0,5 mm e com 2 dias de antecedência do ensaio, para o ensaio foi adotado a execução com controle do deslocamento vertical, medido através do próprio equipamento de execução com precisão de 0,001 mm, posteriormente os valores de deslocamento vertical devem ser convertidos para CMOD obtido através da utilização da Equação 5 abaixo.

$$\delta = 0,85CMOD + 0,04$$

Equação 5

Onde:

δ é o deslocamento vertical expresso em milímetros;

CMOD é o valor para o controle de abertura do entalhe expresso em milímetros.

Figura 18 - Entalhe executado nos corpos de prova



FONTE: Autoria própria (2021)

Desta forma então os principais valores para CMOD utilizados para os cálculos dos resultados são os CMOD1, CMOD2, CMOD3 e CMOD4, relacionados aos valores de abertura do entalhe de 0,5 mm, 1,5 mm, 2,5 mm e 3,5 mm respectivamente, as conversões de deslocamento vertical para estes valores estão expressas na Tabela 7.

Tabela 7 - Conversão do deslocamento vertical para os principais valores de CMOD

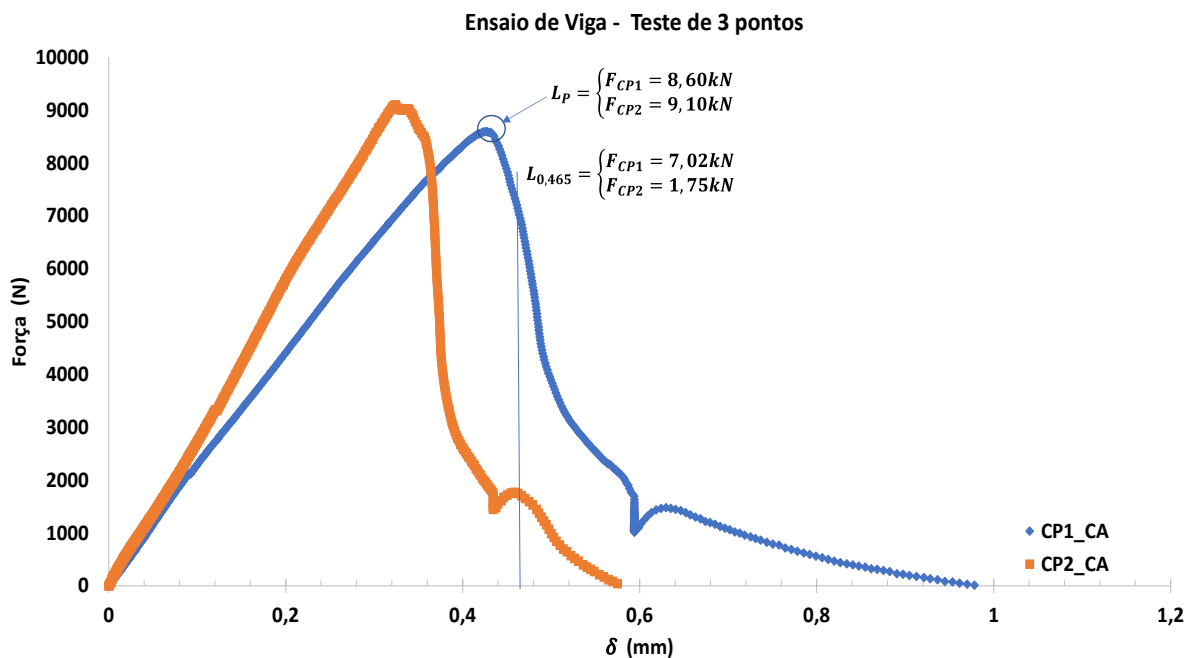
Descrição	CMOD (mm)	Deslocamento - δ (mm)
CMOD 1	0,5	0,4650
CMOD 2	1,5	1,3150
CMOD 3	2,5	2,1650
CMOD 4	3,5	3,0150
Final do Ensaio	4	3,4400

FONTE: Elaborado pelo autor (2021)

Tendo estes valores calculados o ensaio deu-se início com velocidade de aplicação de carga constante e de valor 0,21 mm/min, durante a execução do ensaio um dos corpos de prova contendo cavaco apresentou fissuras fora do centro, sendo assim, conforme recomendações da NBR 16940 os resultados deste foram descartados, os Gráficos 04 e 05 defasados em 0,8 mm mostram a curva típica de força por deslocamento vertical encontradas, sendo representados os corpos de prova em ordem crescente de numeração da esquerda para direita, isto é, os contendo de

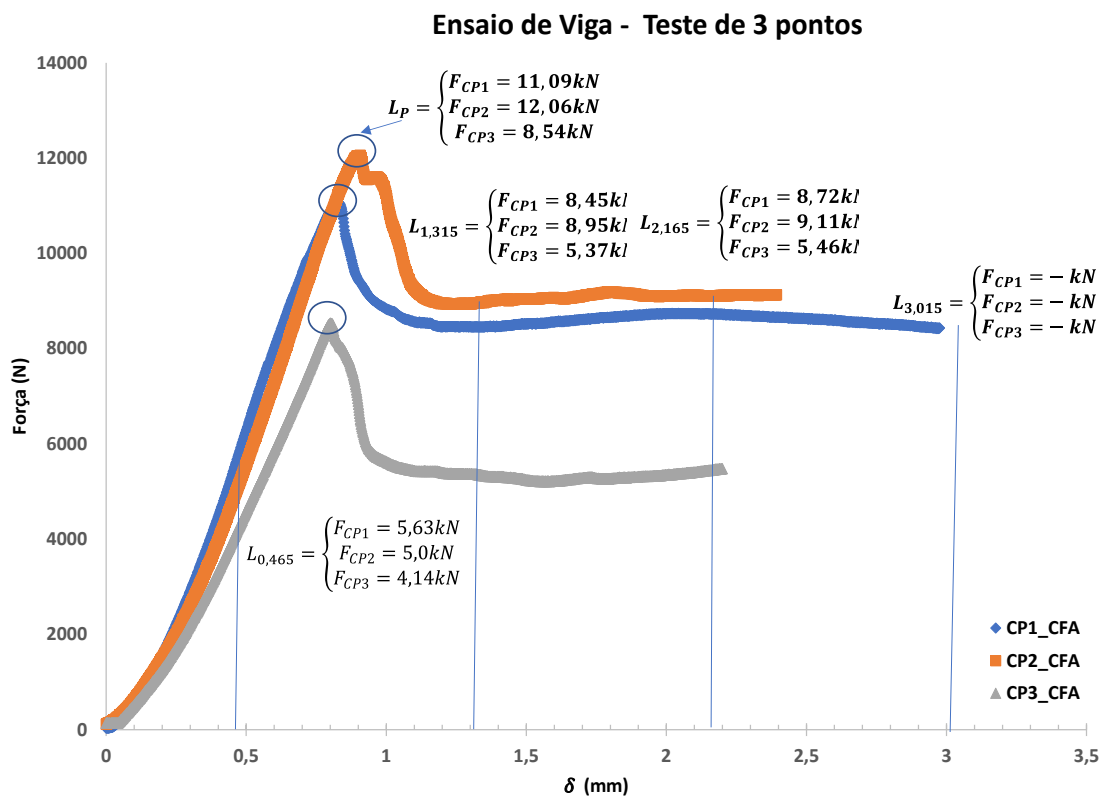
fibra de aço como exemplo, a curva mais à esquerda representando o corpo de prova 01 enquanto a mais à direita representando o corpo de prova 03.

Gráfico 4 - Força por Deslocamento: Corpos de prova contendo cavado



FONTE: Elaborado pelo autor (2021)

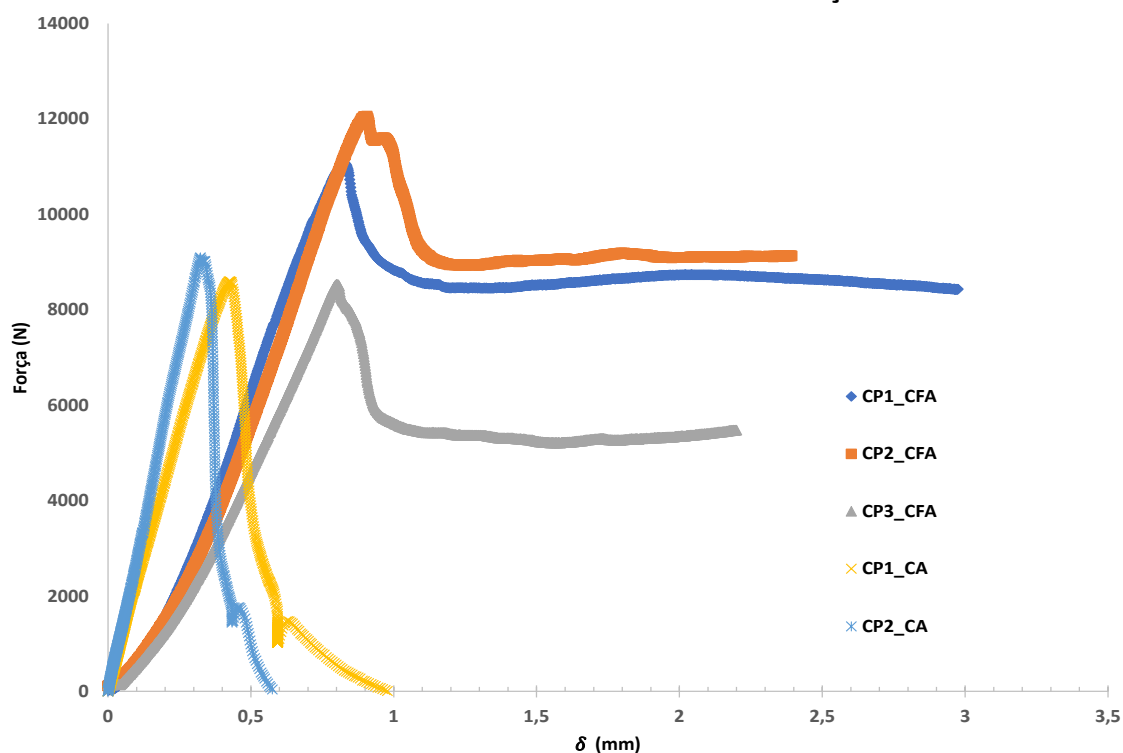
Gráfico 5 - Força por Deslocamento: Corpos de prova contendo fibras de aço



FONTE: Elaborado pelo autor (2021)

Os gráficos que representam os corpos de provas contendo fibra de aço e os corpos de provas contendo cavaco afim de ilustrar o comparativo entre os dois materiais, este sendo representado pelo Gráfico 06 abaixo.

Gráfico 6 - Força por Deslocamento - δ (mm): Comparativo entre cavaco e fibras de aço
COMPORTAMENTO CAVACO X FIBRA DE AÇO



FONTE: Elaborado pelo autor (2021)

Os traços contendo as fibras de aço se comportaram semelhante ao esperado e representado pela norma conforme figura 19 enquanto os traços contendo o cavaco mostraram uma curva típica diferente do padrão para concretos reforçados com fibras, de acordo com as informações da NBR 16940 as resistências residuais à tração na flexão são calculadas seguindo a Equação 06:

$$f_{R,i} = \frac{3F_i l}{2bh_{sp}^2} \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

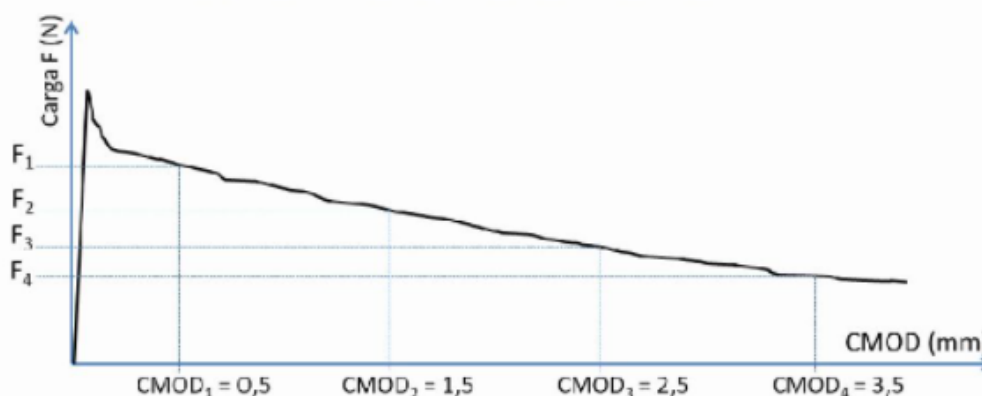
$f_{R,i}$ é a resistência residual à tração na flexão correspondente ao CMOD = CMOD_i (com $i = 1, 2, 3, 4$), expressa por newtons por milímetro quadrado (N/mm²);

F_i é a carga correspondente ao CMOD = CMOD_i ($i = 1, 2, 3, 4$), expressa em newtons (N);

l é o comprimento do vão, expresso em milímetros (mm);

b é a largura do corpo de prova, expressa em milímetros (mm);
 h_{SP} é a distância entre o topo do entalhe e o topo do corpo de prova, expressa em milímetros (mm).

Figura 19 - Curva padrão para fibras de acordo com a NBR 16940



FONTE: ABNT (2021)

Os resultados dos cálculos deste ensaio para os dois traços estão todos representados na Tabela 8 abaixo, assim como todas os valores de medições executadas, valendo ressaltar que, para o caso dos traços contendo cavaco, as forças negativas foram consideradas como sendo nulas, por sua vez, a Figura 20 demonstra o arranjo típico do ensaio bem como a propagação da fissura típica central encontrada durante sua execução.

Tabela 8 - Resultados ensaio de resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos (continua)

Tipo de traço	Descrição	CMOD (mm)	F (N)	l (mm)	b (mm)	h_{SP} (mm)	f_p (N/mm ²)	σ_{r1} (N/mm ²)	σ_{r4} (N/mm ²)
CAVACO	CP 1	0,5	7019						
		1,5	0	500	148	126	2,7	2,2	0,0
		2,5	0						
		3,5	0						
	CP 2	0,5	1747						
		1,5	0	500	149	125	2,9	0,6	0,0
		2,5	0						
		3,5	0						
	MÉDIA	0,5	4383						
		1,5	0	500	148,5	125,5	2,8	1,4	0,0
		2,5	0						
		3,5	0						
DESVIO						0,1	1,2		

Tabela 12 - Resultados ensaio de resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos (conclusão)

Tipo de traço	Descrição	CMOD (mm)	F (N)	l (mm)	b (mm)	h _{SP} (mm)	f _P (N/mm ²)	σ _{r1} (N/mm ²)	σ _{r4} (N/mm ²)
FIBRA DE AÇO	CP 1	0,5	5625,6	500	151	126	3,54	1,80	-
		1,5	8454						
		2,5	8724,4						
		3,5	-						
	CP 2	0,5	5001,7	500	149	125	3,89	1,61	-
		1,5	8953,1						
		2,5	9109,1						
		3,5	-						
	CP 3	0,5	4138,6	500	149	124	2,73	2,73	-
		1,5	5365,6						
		2,5	5459,2						
		3,5	-						
	MÉDIA	0,5	4922,0	500	149,7	125	3,39	2,05	-
		1,5	7590,9						
		2,5	7764,2						
		3,5	-						
DESVIO						0,6	0,6		

FONTE: Elaborado pelo autor (2021)

Figura 20 - Arranjo do ensaio e fissura típica

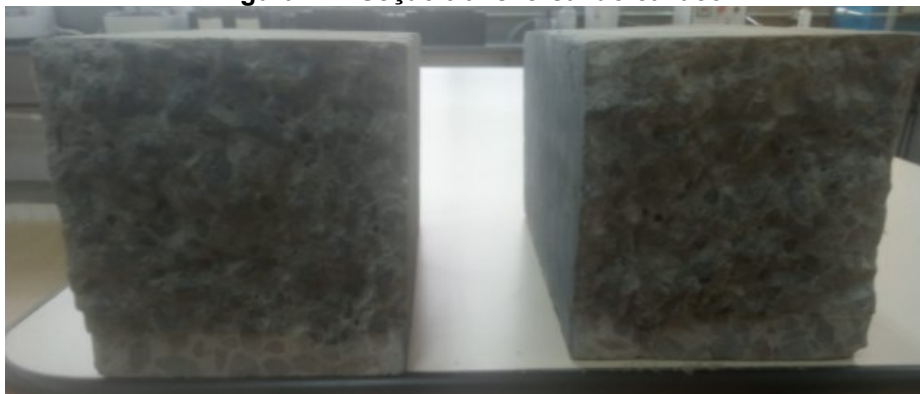


FONTE: Autoria própria (2021)

Durante a execução do ensaio foi observado uma resistência maior pós fissuração por parte dos corpos de prova contendo fibra de aço, uma vez que, ao final do ensaio mesmo fissurados os corpos de prova não romperam, enquanto para os contendo o cavaco foram rompidos facilmente.

Após a execução do ensaio foi analisado também a aparência da seção transversal dos corpos de prova quando rompidos, sendo que aquele que continha fibras de aço foi partido ao meio com auxílio de ferramentas adequadas pois o mesmo não se rompeu ao final do ensaio, as seções transversais podem ser observadas nas Figuras 21 e 22, nota-se que, as fibras de aço tiveram o comportamento esperado para este tipo de material, em contrapartida o cavaco possuiu um aspecto na seção transversal mais semelhante a um agregado do que um material fibroso.

Figura 21 - Seção transversal do cavaco



FONTE: Autoria própria (2021)

Figura 22 - Seção transversal da fibra de aço



FONTE: Autoria própria (2021)

4.3 Esforços solicitantes máximos calculados

Iniciando para o cálculo do esforço cortante máximo suportado em MPa por um pavimento de concreto reforçado com estes dois tipos de materiais para idade 28 dias após a concretagem, foram encontrados os valores representados na Tabela 9 abaixo.

Tabela 9 - Esforço cortante máximo calculado

Tipo	K_2	$V_{m\acute{a}x}$
Cavaco	0,53	4,53
Fibra de aço	0,55	3,76

FONTE: Elaborado pelo autor (2021)

Este esforço calculado depende apenas da resistência a compressão do concreto, como esperado, conforme os dados já representados na Tabela 10, este esforço se mostrou superior quando utilizado do cavaco no concreto, invés das fibras de aço, representando um aumento de 20,47% de resistência para a idade de 28 dias.

Com relação a capacidade de momento final foi adotado uma placa de 200 mm de espessura para seu cálculo, a Tabela 10 mostra os valores para estes cálculos utilizando os valores médios das tensões residuais, além do incremento da resistência ao cisalhamento nos pavimentos industriais de concreto pelo acréscimo destes materiais.

Tabela 10 - Capacidade de momento final (M_u) e acréscimo na capacidade cortante (V_f)

Tipo	M_u (N)	V_f (N/mm ²)
Cavaco	1789,27	0,021
Fibra de aço	7520,69	0,096

FONTE: Elaborado pelo autor (2021)

Nota-se que as fibras de aço se mostraram superiores nestes quesitos se comparado com o cavaco, sendo assim a capacidade de momento final para as fibras de aço mostrou-se 320,32% superior enquanto o acréscimo da resistência ao cisalhamento foi 358,48% maior.

5 CONCLUSÃO

Partindo-se das premissas iniciais deste trabalho, com relação ao comportamento do cavaco no concreto, pode-se dizer que, com base nas curvas obtidas no ensaio de flexão de corpos de prova prismáticos, o mesmo não agiu necessariamente como um material do tipo fibroso, uma vez que, a curva força por CMOD se mostrou diferente do padrão para os materiais deste tipo encontradas tanto na norma quanto na bibliografia utilizada como base neste estudo, tendo como principal resultado de sua adição no concreto como sendo o incremento da resistência característica e de projeto aos 28 dias.

Conforme todas as discussões realizadas neste trabalho bem como dos resultados apresentados nos ensaios executados, chega-se na conclusão que, não se pode substituir totalmente as fibras de aço por resíduos de usinagem no concreto a ser utilizado nas obras que envolvem pisos e pavimentos industriais, pois, nos resultados dos cálculos envolvendo o ensaio de resistência à tração na flexão, a fibra de aço se mostrou notavelmente superior, com resistências aproximadamente 300 % maiores, porém, a mistura destes materiais ou até mesmo a substituição parcial dos agregados ou materiais fibrosos por cavacos podem mostrar resultados interessantes, uma vez que, as fibras de aço auxiliam na capacidade de momento e do acréscimo da cortante dos concretos para estas obras ao mesmo tempo que o cavaco pode aumentar a resistência a compressão e conseqüentemente a resistência ao cisalhamento do mesmo, assim sendo necessários, estudos aprofundados nestas premissas que podem de fato viabilizar os resíduos de usinagem nestes tipos de obras, ao mesmo tempo que apresentar uma nova destinação final para o mesmo com menores agressões ambientais.

REFERÊNCIAS

ACI Comite 544. (2002). **State of the Art Report on Fiber Reinforced Concrete Reported (ACI 544.1R-96 Reapproved 2002)**. *ACI Structural Journal*, 1996 (Reapproved).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10004**: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro: ABNT 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16940**: Concreto reforçado com fibras – Determinação das resistências à tração na flexão (limite de proporcionalidade e resistências residuais) – Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT 2015.

CASSOL, G. ZENERE, T. A., **Análise de desempenho do concreto com substituição de uma porcentagem do agregado miúdo por resíduos de usinagem da indústria metal mecânica**. Ignis, v.6, n.3, 2017.

CRISTELLI, R. **Pavimentos industriais de concreto – Análise do sistema construtivo**. Belo horizonte, 2010.

COMITÉ MERCOSUR DE NORMALIZACIÓN. **Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. NM 101, 1996.

DANDOLINI, D. L. **Gerenciamento ambiental de fluidos de corte em indústrias metal-mecânicas**. 2001. Tese (Mestrado em ALGUMA COISA) – Programa de Pós Graduação em ALGUMA COISA, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

DIAS, J. C. R. **Comportamento do concreto reforçado com cavacos de aço e alumínio**: resistência à tração por compressão diametral. Curitiba, Brazilian Journal of Development, 2021.

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto com fibras de aço**. 2000. Tese (Doutorado em ALGUMA COISA) – Programa de Pós-Graduação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 1991.

INSTITUTO BRASILEIRO DE TELAS SOLDADAS. **Novos critérios para pavimentos industriais de concreto armado**. São Paulo, 2015.

MACHADO, Á. R.; ABRÃO, A. M.; COELHO, R. T.; DA SILVA, M. B. **Teoria Da Usinagem Dos Materiais**. 1. Ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2009.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 2. ed. São Paulo-SP: IBRACON 2014.

RAI, A.; JOSHI, Y. P. **Applications and Properties of Fibre Reinforced Concrete.** Int. Journal of Engineering Research and Applications, 2004.

SENEFONTE, K.B. **Diretrizes de projeto, execução e controle de pisos industriais de concreto protendido.** São Paulo, 2007.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e Elaboração de Dissertação.** Florianópolis: Laboratório de ensino a Distância da UFSC, 2001.

THE CONCRETE SOCIETY. **CONCRETE INDUSTRIAL GROUND FLOORS – A guide to design and construction.** Technical Report 34, 4^o ed., 2016.

APÊNDICE A - COMPOSIÇÕES GRANULOMÉTRICAS DOS AGREGADOS
(Elaborado pelo autor)

Amostra:	A-02		DATA:	21/09/2021	
Laborat.:	Materiais De Construções UTFPR				
Resp.:	Acadêmico Paulo H. C. Mello				
Peso da amostra seca (g)			521,00	Erro:	2,20%
Peneira		(g)	% retida simples	% retida acumulada	% passante acumulada
mm	#				
6,35	3/8"	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
4,8	4	0,94	0,18%	0,18%	99,82%
2,4	8	2,97	0,58%	0,77%	99,23%
1,2	16	15,31	3,00%	3,77%	96,23%
0,6	30	89,13	17,49%	21,26%	78,74%
0,3	50	219,48	43,07%	64,34%	35,66%
0,15	100	162,22	31,84%	96,18%	3,82%
Fundos		19,48	3,88%	100%	-0,05%
Total		509,53	101,36%	-	-
MÓDULO DE FINURA			1,87	Areia Fina	
DIÂMETRO MÁXIMO (<5%RET. AC.)			1,20		

Amostra:	10000	g	Erro:	0,681%
Peneira (mm)	Peso retido (g)	% retida	% Acum. Retida	% Passante Acum.
19,1	95,17	1,0%	1,0%	99,0%
12,7	4550	45,8%	46,8%	53,2%
9,5	3900	39,3%	86,0%	14,0%
4,75	1300	13,1%	99,1%	0,9%
2	55,81	0,6%	99,7%	0,3%
Fundo	30,89	0,3%	100,0%	0,0%
Total	9931,87			
DIÂMETRO MÁXIMO (<5%RET. AC.)			19,10	
Classificação			Brita 01	

APÊNDICE B – CARGAS DE RUPTURA DO ENSAIO A COMPRESSÃO
(Elaborado pelo autor)

Idade	Tipo	Identificação	Carga (kN)
14	Cavaco	CP 1	242,18
		CP 2	173,22
		CP 3	194,32
		CP 4	201,17
		DESV. PAD.	25,88
		MÉDIA	212,56
	Fibra de aço	CP 1	189,95
		CP 2	173,33
		CP 3	183,52
		CP 4	175,78
DESV. PAD.		7,10	
	MÉDIA	183,08	
21	Cavaco	CP 1	177,04
		CP 2	225,46
		CP 3	228,39
		CP 4	263,65
		DESV. PAD.	21,25
		MÉDIA	239,17
	Fibra de aço	CP 1	189,98
		CP 2	158,27
		CP 3	212,52
		CP 4	216,93
DESV. PAD.		14,46	
	MÉDIA	206,48	
28	Cavaco	CP 1	165,41
		CP 2	227,31
		CP 3	241,7
		CP 4	252,73
		DESV. PAD.	12,75
	MÉDIA	240,58	
28	Fibra de aço	CP 1	235,88
		CP 2	199,39
		CP 3	116,59
		CP 4	200,83
		DESV. PAD.	20,66
	MÉDIA	212,03	