

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Augusto Frölich

CONTRAPISO FLUTUANTE REFORÇADO COM FIBRAS POLIMÉRICAS

Santa Cruz do Sul
2019

Augusto Frölich

CONTRAPISO FLUTUANTE REFORÇADO COM FIBRAS POLIMÉRICAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade de Santa Cruz do Sul, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Ms. Marcus Daniel Friederich dos Santos.

Santa Cruz do Sul
2019

*“Sonhos determinam o que você quer.
Ações determinam o que você conquista.”*

Aldo Novak

RESUMO

A norma ABNT NBR 15575 introduzida no Brasil em 2013 trouxe ao setor da construção civil uma grande revolução no âmbito de desempenho das edificações habitacionais. Um dos conceitos exigidos pela norma é o de conforto acústico, tendo em vista seu impacto na saúde das pessoas. Dessa maneira, disseminou-se o uso de mantas acústicas para atenuar os ruídos de impacto entre pisos. Porém, isso faz com que o contrapiso fique desvinculado à laje e assim surgem maiores esforços de tração no elemento, sendo necessário reforçá-lo. Nesse contexto, o trabalho buscou analisar o desempenho mecânico do contrapiso flutuante reforçado com fibras poliméricas para verificar se o mesmo pode ser utilizado sobre mantas acústicas, procurando evitar patologias e fornecer isolamento acústico ao usuário. Nesse sentido, foram realizados ensaios mecânicos em amostras reforçadas com dois tipos de macrofibras e ainda em uma amostra de contrapiso autonivelante com fibras incorporadas para avaliar se a adição de fibras gera acréscimo de resistência em comparação com amostras sem reforço. O ensaio de flexão em placas, desenvolvido através da adaptação de uma norma europeia com o intuito de trazer resultados mais reais em relação às solicitações normalmente impostas ao contrapiso flutuante, demonstrou um aumento considerável na resistência à flexão dos exemplares reforçados com fibras. Do mesmo modo, os ensaios de tração por compressão diametral e de tração na flexão de prismas geraram resultados positivos. De maneira complementar, o ensaio de compressão também apresentou acréscimos na resistência à compressão dos elementos reforçados. Por último, ainda foi feita a análise do custo do contrapiso, constatando-se que o preço do compósito com fibras é menor em relação a camada reforçada com tela de aço. Dessa forma, concluiu-se que o contrapiso flutuante reforçado com fibras poliméricas possui desempenho mecânico satisfatório e pode ser utilizado nesse sistema.

Palavras-chave: Norma de desempenho. Conforto acústico. Contrapiso flutuante. Fibras poliméricas.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Transmissão de ruído aéreo.	13
Figura 02 – Transmissão de ruído de impacto.	14
Figura 03 – Exemplo de sistema de piso e seus componentes.	16
Figura 04 – Representação de um sistema massa-mola.	20
Figura 05 – Esquema do ensaio de rigidez dinâmica realizado em laboratório.	21
Figura 06 – Contrapiso com reforço sobre camada de separação.	29
Figura 07 – Sistema de contrapiso flutuante.	35
Figura 08 – Estrutura do contrapiso sobre manta acústica.	36
Figura 09 – Lona plástica colocada sobre a manta acústica.	39
Figura 10 – Detalhe da sobreposição das mantas na região das taliscas.	40
Figura 11 – Reforço em cantos reentrantes.	40
Figura 12 – Reforço em portas.	41
Figura 13 – Interface entre contrapiso flutuante e aderido.	41
Figura 14 – Fissuras superficiais por retração plástica do contrapiso.	44
Figura 15 – Fissuras em locais de concentração de cargas no contrapiso.	44
Figura 16 – Deslocamento em contrapiso aderidos (a) e não aderidos (b).	45
Figura 17 – Esquema da concentração de tensões para concreto sem fibras.	47
Figura 18 – Esquema da concentração de tensões para concreto com fibras.	47
Figura 19 – Fibra de aço com ancoragens nas extremidades.	50
Figura 20 – Esquema do ensaio de dobramento da fibra de acordo com a NBR 15530.	54
Figura 21 – Exemplos de macrofibras poliméricas.	54
Figura 22 – Fibra composta de macrofibra e microfibras.	57
Figura 23 – Fibras de polipropileno fibriladas (a) e monofilamento (b).	59
Figura 24 – Fibra TUF-STRAND-SF.	65
Figura 25 – Fibra TUF-STRAND Maxten.	66
Figura 26 – Macrofibra incorporada ao contrapiso autonivelante.	67
Figura 27 – Configuração do ensaio de tração por compressão diametral.	71
Figura 28 – Vista do ensaio de resistência à tração na flexão de prismas.	72
Figura 29 – Ensaio de resistência à compressão no prisma rompido.	72
Figura 30 – Esquema do ensaio de flexão em placas.	74
Figura 31 – Dispositivo para moldagem dos CPs prismáticos.	76

Figura 32 – Gabarito para moldagem dos CPs em placas.	77
Figura 33 – Comportamento da amostra sem reforço.	93
Figura 34 – Comportamento da amostra reforçada com fibra.	94
Figura 35 – Detalhe das fibras sob tensão.	94

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 – Comparativo do desempenho acústico ao ruído de impacto entre diferentes países.	18
Gráfico 02 – Comparativo de diferentes tipos de laje quanto ao isolamento ao ruído de impacto.	19
Gráfico 03 – Estimação da redução sonora.	22
Gráfico 04 – Fluência em compressão de uma amostra para uma carga de 10 kN/m ² .	24
Gráfico 05 – Diagramas tensão-deformação de diferentes tipos de fibra.	49
Gráfico 06 – Influência do comprimento da fibra no desempenho pós-fissuração.	53
Gráfico 07 – Incremento da carga resistente pós-fissuração ao aumentar o teor de fibras.	53
Gráfico 08 – Influência do teor de macrofibras na carga residual e na tenacidade do concreto.	57
Gráfico 09 – Desempenho da TUF-STRAND-SF com diferentes dosagens.	58
Gráfico 10 – Distribuição granulométrica do material	80
Gráfico 11 - Resistência à compressão.	82
Gráfico 12 – Resistência à tração.	84
Gráfico 13 – Resistência à tração na flexão de prismas.	85
Gráfico 14 – Resistência à compressão de prismas.	86
Gráfico 15 – Comparação entre as relações de carga e espessura.	89
Gráfico 16 – Resistência à flexão das placas.	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Requisitos de desempenho acústico para cada sistema estabelecidos na norma.	15
Tabela 02 – Critério e nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado, $L'_{nT,w}$.	17
Tabela 03 – Correlação entre rigidez dinâmica e redução sonora.	22
Tabela 04 – Níveis de ruído de impacto nas mantas acústicas da empresa AUBICON.	25
Tabela 05 – Níveis de pressão sonora de impacto padrão ponderado em mantas da empresa ACITAL.	26
Tabela 06 – Isolamento acústico de diferentes materiais em camadas resilientes.	26
Tabela 07 – Características das argamassas ensacada, dosada em central e do tipo farofa.	33
Tabela 08 – Características do contrapiso flutuante em função da camada de isolamento.	37
Tabela 09 – Reforços recomendados na camada de contrapiso.	37
Tabela 10 – Requisitos exigidos para a argamassa de regularização.	38
Tabela 11 – Referência de traços orientativos.	38
Tabela 12 – Controle de execução do contrapiso flutuante.	42
Tabela 13 – Propriedades de fibras encontradas no mercado da construção civil.	48
Tabela 14 – Classificação e geometria das diferentes fibras de aço.	51
Tabela 15 – Requisitos da NBR 15530 para as fibras de aço.	52
Tabela 16 – Requisitos de resistência à compressão para CP IV classe 32.	62
Tabela 17 – Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo.	63
Tabela 18 – Limites para o módulo de finura.	63
Tabela 19 – Características técnicas da fibra TUF-STRAND-SF.	66
Tabela 20 – Características técnicas da fibra TUF-STRAND Maxten.	67
Tabela 21 – Características do contrapiso a ser ensaiado.	69
Tabela 22 – Número de CPs cilíndricos.	75
Tabela 23 – Número de CPs prismáticos.	75
Tabela 24 – Número de CPs em placas.	76
Tabela 25 – Requisitos para as amostras de contrapiso.	78
Tabela 26 – Resultados do ensaio de resistência à compressão do cimento.	79

Tabela 27 – Distribuição granulométrica do material.	80
Tabela 28 – Resultados do ensaio de massa unitária.	81
Tabela 29 – Resultados do ensaio de inchamento.	81
Tabela 30 – Resultados de resistência à compressão.	82
Tabela 31 – Resultados de resistência à tração por compressão diametral.	83
Tabela 32 – Resultados da resistência à tração na flexão de prismas.	85
Tabela 33 – Resultados da resistência à compressão de prismas.	86
Tabela 34 – Dimensões das placas.	87
Tabela 35 – Cargas de ruptura no ensaio de flexão.	88
Tabela 36 – Resultados da resistência à flexão das amostras.	90
Tabela 37 – Deformação na ruptura.	91
Tabela 38 – Cargas residuais das amostras com fibras.	92
Tabela 39 – Custo contrapiso convencional.	95
Tabela 40 – Custos dos materiais de reforço.	95

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AENOR	<i>Asociación Española de Normalización y Certificación</i>
ANAPRE	Associação Nacional de Pisos e Revestimentos de Alto Desempenho
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
CP	Cimento Portland
CPs	Corpos de prova
CSTB	<i>Centre Scientifique et Techniques du Bâtiment</i>
EFNARC	<i>Experts for Specialised Construction and Concrete Systems</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
JSCE	<i>Japan Society of Civil Engineers</i>
NBR	Norma Brasileira
OMS	Organização Mundial da Saúde
PROACÚSTICA	Associação Brasileira para a Qualidade Acústica
UNE	<i>Una Norma Española</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

$L'_{nT,w}$	Nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado
Cm	Centímetros
dB	Decibel
MN/m ³	Meganewton por metro cúbico
Mm	Milímetro
Kg/m ²	Quilograma por metro quadrado
M	Metro
MN/m ²	Meganewton por metro quadrado
ΔL_w	Redução ponderada do nível de pressão sonora de impactos
kN/m ²	Kilonewton por metro quadrado
Kg/m ³	Quilograma por metro cúbico
%	Porcentagem
m ²	Metro quadrado
m ³	Metro cúbico
g/m ²	Grama por metro quadrado
g/m ³	Grama por metro cúbico
°C	Grau Celsius
<	Menor que
>	Maior que
MPa	Megapascal
N	Newton
kg/litros	Quilograma por litro
$\mu\text{m}/\text{m}$	Micrômetro por metro
μm	Micrômetro
g/cm ³	Grama por centímetro cúbico
GPa	Gigapascal
σ	Tensão
ε	Deformação
kN	Kilonewton
Re,3	Fator de tenacidade
Fck	Resistência característica do concreto à compressão

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	9
1.1	Objetivos	11
1.1.1	Objetivo geral.....	11
1.1.2	Objetivos específicos.....	11
1.2	Justificativa.....	11
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1	Isolamento acústico em edificações habitacionais.....	13
2.1.1	Isolamento acústico em sistemas de pisos	16
2.1.2	Fatores que influenciam o isolamento ao ruído de impacto	18
2.1.2.1	Tipo de laje.....	18
2.1.2.2	Espessura da laje	19
2.2	Mantas acústicas	19
2.2.1	Rigidez dinâmica	21
2.2.2	Fluência na compressão.....	23
2.2.3	Tipos de mantas acústicas	25
2.3	Contrapiso.....	27
2.3.1	Tipos de contrapiso	31
2.3.1.1	Contrapiso convencional.....	31
2.3.1.2	Contrapiso autonivelante.....	32
2.3.1.3	Contrapiso aderido.....	33
2.3.1.4	Contrapiso não aderido	34
2.3.1.5	Contrapiso flutuante	35
2.3.1.5.1	Execução contrapiso flutuante	38
2.3.2	Patologias em contrapiso	43
2.3.2.1	Fissuras.....	43
2.3.2.2	Deslocamento	44
2.3.2.3	Esfarelamento e presença de pó na superfície.....	46
2.3.2.4	Superfícies irregulares.....	46
2.4	Fibras utilizadas no reforço do contrapiso	46
2.4.1	Fibras de aço	50
2.4.2	Fibras poliméricas sintéticas (macrofibras).....	54
2.4.3	Microfibras	58

3.	METODOLOGIA	61
3.1	Caracterização dos contrapisos e seus materiais.....	61
3.1.1	Cimento	61
3.1.2	Agregado miúdo	62
3.1.2.1	Distribuição granulométrica e módulo de finura	62
3.1.2.2	Massa unitária.....	64
3.1.2.3	Inchamento	64
3.1.3	Água	65
3.1.4	Fibras poliméricas.....	65
3.1.4.1	Fibra 1.....	65
3.1.4.2	Fibra 2.....	66
3.2	Contrapiso autonivelante.....	67
3.3	Determinação do traço e das espessuras do contrapiso	68
3.4	Ensaio realizados para avaliação das amostras.....	70
3.4.1	Resistência à compressão.....	70
3.4.2	Resistência à tração por compressão diametral	70
3.4.3	Resistência à tração na flexão e à compressão em prismas.....	71
3.4.4	Flexão em placas.....	73
3.5	Produção e moldagem dos corpos de prova	74
3.6	Análise dos resultados	78
4.	RESULTADOS.....	79
4.1	Ensaio de caracterização dos materiais.....	79
4.1.1	Cimento	79
4.1.2	Agregado miúdo	79
4.1.2.1	Distribuição granulométrica e módulo de finura	79
4.1.2.2	Massa unitária.....	80
4.1.2.3	Inchamento	81
4.2	Ensaio de resistência mecânica das amostras de contrapiso	81
4.2.1	Resistência à compressão.....	82
4.2.2	Resistência à tração por compressão diametral	83
4.2.3	Resistência à tração na flexão e compressão de prismas.....	84
4.2.4	Resistência à flexão em placas	87
4.2.4.1	Carga de ruptura.....	88
4.2.4.2	Resistência à flexão	89

4.2.4.3	Deformação na ruptura e carga residual	91
4.2.4.4	Comportamento	93
4.3	Análise de custo	95
5.	CONCLUSÃO	97
5.1	Sugestões para trabalhos futuros	99
	REFERÊNCIAS	100

1. INTRODUÇÃO

A verticalização das cidades ocorre de forma intensa atualmente. Vários motivos levam a isso: a busca por um maior índice de aproveitamento da área de um terreno, a otimização do espaço urbano, melhor localização dentro de um centro urbano, entre outros. Isso acarreta uma maior aglomeração de pessoas nas cidades e dessa forma, cada vez mais as edificações passam a ser maiores em altura e ter habitações que são divididas entre os pavimentos.

Desse modo, quando o sistema de piso divide dois ambientes de unidades autônomas distintas, surge a necessidade de o mesmo garantir o conforto acústico adequado aos habitantes, visto que os ruídos excessivos gerados pelas pessoas, equipamentos e ferramentas são, de certa forma, incômodos. Soluções de isolamento acústico devem ser utilizadas para amenizar este problema e conceber um local mais harmonioso para as famílias que habitam a edificação.

Durante muitos anos, as construtoras visaram a racionalização na execução de edifícios e para isso, tentavam reduzir gastos com materiais e elementos da construção, muitas vezes diminuindo a espessura deles. Com isso, as edificações começaram a apresentar problemas principalmente quanto ao conforto acústico entre pavimentos para os usuários, já que cada vez mais as lajes possuíam uma espessura menor. De fato, a maioria das edificações demonstravam este tipo de defeito e por isso as pessoas consideravam esta prática natural, ficavam satisfeitos e não reivindicavam seus direitos de ter uma moradia digna que oferecesse conforto a elas.

Em 2013, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) elaborou a norma de desempenho, que estabelece requisitos dos usuários para os diferentes sistemas construtivos de edificações habitacionais. Ao entrar em vigor, as pessoas entenderam que o desempenho em edificações é um fator que as construtoras devem garantir e que o usuário pode buscar essa garantia caso adquira um produto que não possui conforto, através até mesmo de processos judiciais. O isolamento acústico acabou se tornando fundamental em edificações habitacionais, já que ele oferece ao usuário bem-estar físico e psíquico.

Dessa maneira, para atenuar os ruídos de impacto entre pisos disseminou-se no Brasil a utilização de mantas acústicas posicionadas entre a laje e o contrapiso. Essa técnica pode atingir níveis de desempenho acústico elevados e garantir o conforto acústico ao usuário. Porém, o uso de mantas acústicas é considerado recente e com pouco estudo no país, trazendo dúvidas quanto ao seu processo executivo e criando diversas patologias principalmente em relação ao contrapiso, já que o mesmo passa a trabalhar desvinculado à laje.

Para prevenir patologias no contrapiso, o mesmo é reforçado para aumentar sua resistência à tração. O primeiro tipo de reforço, e o mais utilizado atualmente, é por meio da inserção de uma armadura de tela de aço, posicionada no centro da camada. Outra maneira de reforçar o elemento é através da adição de fibras ao executá-lo.

Esse outro tipo de reforço é incomum e pouco conhecido para contrapisos, porém ele pode ter o mesmo desempenho e inclusive diminuir a espessura da camada de regularização. Além disso, o reforço com fibras apresenta um ganho de produtividade em relação ao uso de tela de aço, visto que as fibras são adicionadas já na mistura, suprimindo a etapa de posicionamento da tela.

Tendo em vista que essa técnica é relativamente nova, é fundamental estudar e expandir o conhecimento sobre esse tipo de sistema, buscando entender o seu funcionamento e analisando seu comportamento mecânico, para que o sistema tenha desempenho adequado sem apresentar patologias e ainda o isolamento acústico do sistema de piso possa ser de fato garantido nas edificações.

A utilização de contrapiso sobre uma camada de manta acústica faz com que ele fique desvinculado à laje. Com isso, tem-se a necessidade do contrapiso resistir a maiores esforços de tração para evitar fissurações excessivas e garantir o bom desempenho do sistema. Atualmente, a principal solução para este problema é a colocação de uma armadura de tela de aço para aumentar a resistência aos esforços de tração. Como consequência, acaba-se tendo um contrapiso com maior espessura e consumo de material. Dessa maneira, surge a solução de adicionar fibras ao contrapiso para substituir a armadura e assim diminuir sua espessura, além de aumentar a produtividade na execução do sistema.

Neste contexto, é necessário verificar se o contrapiso com fibras sobre uma camada elástica pode oferecer um bom desempenho em comparação com o contrapiso com armadura de tela de aço, principalmente em relação à resistência à tração e à flexão do componente.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Estudar o sistema de contrapiso com adição de fibras sobre manta acústica e verificar se o mesmo atende aos requisitos de desempenho mecânico.

1.1.2 Objetivos específicos

- Analisar as propriedades dos materiais utilizados no sistema: manta acústica, contrapiso e fibras.
- Detalhar o sistema de contrapiso, demonstrando a sua composição e os procedimentos de execução, assim como verificar as patologias que podem ocorrer no mesmo.
- Analisar o desempenho mecânico do contrapiso com adição de fibras por meio de ensaios de compressão simples, tração por compressão diametral, tração na flexão e compressão de prismas e flexão em placas.
- Comparar os resultados e avaliar se a adição de fibras no contrapiso pode ser uma alternativa para substituir a armadura em tela de aço, em sistemas de contrapiso flutuante.

1.2 Justificativa

Atualmente, grande parte das edificações não oferecem desempenho acústico adequado ao usuário. Mesmo que o assunto esteja sendo discutido por um longo tempo, o conforto acústico começou de fato a se tornar relevante no Brasil através da introdução da ABNT NBR 15575 em 2013, uma vez que a mesma estabeleceu limites de níveis de ruído visando o bem-estar e qualidade de vida do usuário.

Desde que entrou em vigor, a norma de desempenho criou muitos desafios ao setor da construção civil para atender os requisitos de acústica nas edificações habitacionais. Por exemplo, no sistema de pisos é necessária a utilização de camadas de isolamento acústico para diminuir o ruído de impacto entre unidades autônomas, visto que somente a laje sem tratamento acústico não garante, frequentemente, o nível de desempenho requerido.

Antigamente era incomum a utilização de camadas de isolamento acústico no sistema de piso, apenas era feita a execução do contrapiso diretamente sobre a laje. Com o seu emprego, o contrapiso sobre a manta acústica não fica aderido à laje, sendo denominado de contrapiso flutuante, e precisa ser reforçado para evitar problemas com fissuração do componente. Muitas vezes, os problemas são criados na execução do sistema, tanto na fase colocação da manta acústica, quanto na execução do contrapiso.

Dessa maneira, inicialmente o contrapiso flutuante era reforçado com armadura de tela de aço. Atualmente, um dos reforços mais recentes para o elemento é a adição de fibras. Com isso, pode-se substituir a armadura de tela de aço e assim diminuir a espessura e o peso da camada, além de aumentar a produtividade ao eliminar o processo de colocação da tela.

Como esta técnica é considerada atual e com pouco conhecimento, o presente trabalho visa estudar e entender o funcionamento do contrapiso flutuante através da avaliação do desempenho mecânico de diferentes traços do contrapiso com adição de fibras com o objetivo de se ter uma alternativa de reforço do elemento. Além disso, o trabalho busca também ensaiar diferentes espessuras da camada de contrapiso para avaliar qual seria a espessura mínima para atender aos requisitos necessários para a camada.

Neste contexto, atualmente o tema é muito relevante na área da construção civil, já que a norma de desempenho possui níveis de isolamento ao ruído de impacto mínimos que todas edificações habitacionais devem atender. Caso o nível mínimo não seja atendido, a empresa construtora pode sofrer até mesmo ações judiciais.

Com isso, é imprescindível que a técnica apresentada neste inédito trabalho seja conhecida para que se torne uma alternativa viável ao reforço tradicional de armadura de tela de aço na execução do sistema de piso, preservando as condições mecânicas, evitando patologias na camada e oferecendo ao usuário o desempenho acústico adequado. Desta forma, é evidente que os resultados demonstrados no estudo podem auxiliar na evolução do sistema e trazer consequências bastante positivas ao presente e futuro do setor da construção civil.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

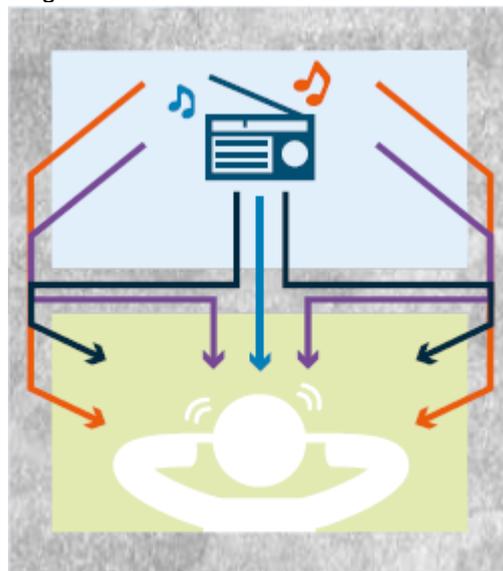
2.1 Isolamento acústico em edificações habitacionais

O desempenho acústico em uma edificação é, sem dúvidas, um elemento de grande importância para o conforto do usuário. Vários estudos e pesquisas relatam que ruídos excessivos podem causar problemas de saúde nas pessoas, tanto fisiológicos quanto psicológicos. De fato, a Organização Mundial de Saúde (OMS) considera a poluição sonora um problema de saúde pública mundial (PIRES, 2016).

Em um edifício, praticamente todas as atividades geram algum ruído. Conseqüentemente, deve-se considerar formas de tratamento para a redução de ruídos, as quais variam conforme o tipo de ruído, que é classificado de acordo com a origem e propagação das ondas sonoras. Existem dois tipos de ruído: os ruídos aéreos, que são gerados e propagados através do ar, e os ruídos de impacto, produzidos por meio da percussão sobre um corpo sólido (PEREYRON, 2008).

Os ruídos aéreos são gerados no ar do ambiente, como conversas, música, televisão, etc. Sua propagação entre duas unidades habitacionais sobrepostas se dá através do ar, de forma direta ou indireta (Figura 01). Essas transmissões dependem das propriedades dos elementos construtivos presentes na edificação (PROACÚSTICA, 2015).

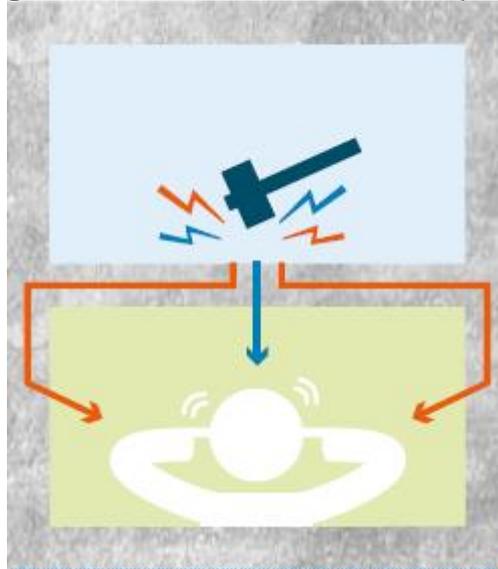
Figura 01 – Transmissão de ruído aéreo.



Fonte: PROACÚSTICA, 2015.

Por outro lado, PROACÚSTICA (2015) define que o ruído de impacto é proveniente de “[...] uma ação de choque físico por impacto ou atrito de elementos sólidos sobre a superfície do piso de uma edificação, como queda de objetos, arrastar móveis, passos, etc.” Sua transmissão pode ser de forma direta através do sistema de piso, ou de modo indireto por meio dos elementos laterais (Figura 02).

Figura 02 – Transmissão de ruído de impacto.



Fonte: PROACÚSTICA, 2015.

Os materiais utilizados para a redução de ruídos devem possuir diferentes propriedades, conforme o tipo de ruído. Para ruídos transmitidos de forma aérea, é necessário que o material tenha propriedades absorventes. De outro modo, para ruídos de impacto, o material deve ter a função de não transmitir as vibrações decorrentes do impacto. Ou seja, nem sempre um material absorvente será adequado para evitar transmitir vibrações, ou vice-versa (ROUGERON, 1977 *apud* PEREYRON, 2008).

A Norma de desempenho, introduzida no Brasil pela ABNT em 2013, busca estabelecer um conjunto de requisitos, critérios e métodos de avaliação de desempenho para edifícios habitacionais. Os requisitos gerais dos usuários são divididos em segurança, habitabilidade e sustentabilidade (ABNT, 2013). O desempenho acústico é um requisito do usuário relativo a habitabilidade da edificação. Conforme a ABNT NBR 15575-1 (2013), uma edificação habitacional deve possuir tanto isolamento acústico adequado das vedações externas, quanto entre áreas comuns e privativas e entre áreas privativas de unidades autônomas diferentes.

Nesse contexto, há uma grande mudança no âmbito da construção civil a partir de 2013, já que as construtoras devem assegurar, de forma obrigatória, o isolamento acústico adequado nas edificações, definindo os níveis a atender – mínimo, intermediário ou superior – em função da tecnologia empregada e das características de mercado do empreendimento (PROACÚSTICA, 2015).

No que se refere ao isolamento acústico entre ambientes, a edificação deve propiciar condições mínimas de desempenho acústico no interior da mesma em relação a fontes padronizadas de ruídos de impacto e de ruídos aéreos.

A ABNT NBR 15575 (2013) estabelece requisitos de atenuação de ruídos para cada sistema da edificação inclusive em cada parte da norma: nos requisitos gerais, nos sistemas de pisos, de vedações verticais internas e externas, coberturas e hidrossanitários. Apenas a parte de sistemas estruturais não possui requisitos que se referem à acústica. Com isso, os sistemas devem atender aos requisitos especificados na norma de desempenho através da aplicação de diferentes critérios. Na Tabela 01 pode-se analisar os parâmetros aplicados para a avaliação de cada sistema (SINDUSCON-DF e ADEMI-DF 2017).

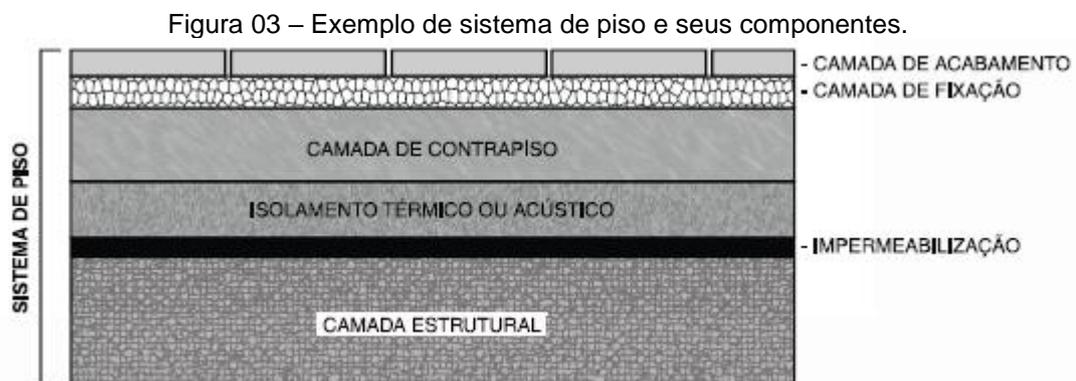
Tabela 01 – Requisitos de desempenho acústico para cada sistema estabelecidos na norma.

Parte	Requisito	Critério	Medição acústica
Parte 1 Requisitos gerais	Atenuação de ruído de equipamento predial (caráter informativo)	Níveis de pressão sonora equivalente e máximo padronizados (LAeq,nT e LASmáx.,nT)	ISO 16032 ou ISO 10052
Parte 3 Sistemas de pisos	Atenuação de ruído de impacto (Caráter obrigatório)	Nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado (L'nT,w)	ISO 140-7 ou ISO 10052
	Atenuação de ruído aéreo (Caráter obrigatório)	Diferença padronizada de nível ponderada (DnT,w)	ISO 140-4 ou ISO 10052
Parte 4 Sistemas de vedações verticais internas e externas	Atenuação de ruído aéreo entre unidades (Caráter obrigatório)	Diferença padronizada de nível ponderada (DnT,w)	ISO 140-4 ou ISO 10052
	Atenuação de ruído aéreo externo (Caráter obrigatório)	Diferença padronizada de nível ponderada a 2m de distância da fachada (D2m,nT,w)	ISO 140-5 ou ISO 10052
Parte 5 Sistemas de coberturas	Atenuação de ruído aéreo externo (Caráter obrigatório)	Diferença padronizada de nível ponderada a 2m de distância da fachada (D2m,nT,w)	ISO 140-5 ou ISO 10052
	Atenuação de ruído de impacto de uso coletivo (Caráter obrigatório)	Nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado (L'nT,w)	ISO 140-7 ou ISO 10052
Parte 6 Sistemas hidrossanitários	Atenuação de ruído de equipamento hidrossanitário (Caráter informativo)	Níveis de pressão sonora equivalente e máximo padronizados (LAeq,nT e LASmáx.,nT)	ISO 16032 ou ISO 10052

Fonte: SINDUSCON-DF e ADEMI-DF, 2017.

2.1.1 Isolamento acústico em sistemas de pisos

O sistema de piso é de grande relevância nas edificações, já que este geralmente separa unidades autônomas diferentes e para garantir seu desempenho acústico é necessária a atenuação de ruídos de impacto e de ruído aéreo em caráter obrigatório. A NBR 15575-3 (2013) especifica que o sistema de piso é composto por um conjunto parcial ou total de camadas destinado a atender à função estrutural, de vedação e de tráfego (Figura 03).



Fonte: ABNT NBR 15575-3, 2013.

Normalmente, os parâmetros de avaliação de ruídos de impacto e aéreo para os pisos são obtidos, conforme mostra a Tabela 01, por meio de ensaios em campo (método engenharia) descrito pela ISO 140-7 (1998) (para ruído de impacto-padrão) e ISO 140-4 (1998) (para ruído aéreo), que determina o nível de pressão sonora de impacto-padrão e o isolamento sonoro de ruído aéreo em sistema de piso entre unidades. Ou também a avaliação pode ser feita pelo método simplificado de campo definido pela ISO 10052 (2004), que estima um isolamento sonoro de ruído aéreo e de impacto. Dentre os dois métodos, o de engenharia é considerado o mais preciso (ABNT NBR 15575-3, 2013).

Em relação aos requisitos de níveis de ruído permitidos na edificação, a ABNT NBR 15575-3 (2013) estabelece como critério a avaliação do som resultante de ruídos de impacto e o isolamento de som aéreo de ruídos de uso normal e de uso eventual entre unidades habitacionais. O método de avaliação considera que devem ser avaliados os dormitórios da unidade habitacional, sendo que as medições devem ser feitas com portas e janelas fechadas e conforme foram entregues pela empresa construtora ou incorporadora.

Para o ruído de impacto, predominante em sistemas de pisos, emprega-se um dos métodos demonstrados anteriormente para a determinação dos valores do nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado, $L'_{nT,w}$. Definido este parâmetro, a ABNT NBR 15575-3 (2013) estabelece níveis mínimos, intermediários e superiores de desempenho acústico a serem atendidos, sendo que é obrigatório atender o nível mínimo em todas as edificações habitacionais (Tabela 02).

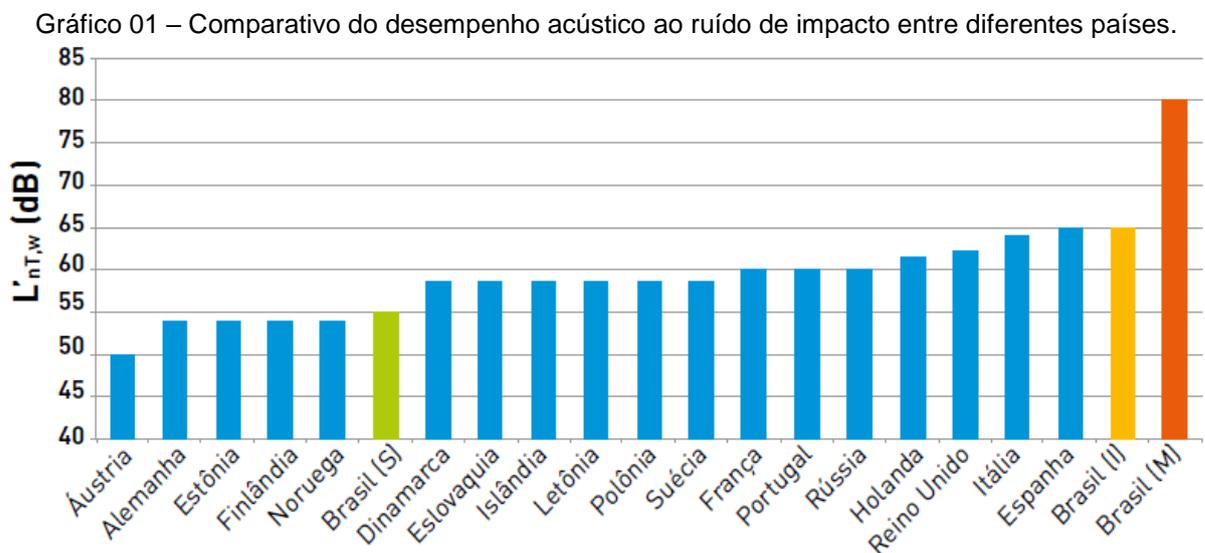
Tabela 02 – Critério e nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado, $L'_{nT,w}$.

Elemento	$L'_{nT,w}$ (dB)	Nível de desempenho
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos	66 a 80	Mínimo (M)
	56 a 65	Intermediário (I)
	≤ 55	Superior (S)
Sistema de piso de áreas de uso coletivo (atividade de lazer e esportivas, como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas) sobre unidades habitacionais autônomas	51 a 55	Mínimo (M)
	46 a 50	Intermediário (I)
	≤ 45	Superior (S)

Fonte: ABNT NBR 15575-3.

PROACÚSTICA (2015) explica que cabe aos fabricantes apresentar ao projetista e ao empreendedor o desempenho de seus sistemas quando medidos em laboratório. Ao empreendedor cabe analisar estes dados quanto à capacidade de atenderem a condição de desempenho em campo exigida. Através destes dados pode ser feita a especificação correta. O construtor deve saber, de antemão, as condições de execução e instalação necessárias para atender aos requisitos e critérios estabelecidos. Além disso, o usuário deve ser informado sobre como suas ações de uso, operação e manutenção podem alterar o desempenho acústico. Portanto, para uma edificação ter um bom desempenho acústico deve-se ter a colaboração de todas as partes que participam no projeto: fornecedores dos sistemas, empreendedores, projetistas, construtores e inclusive o usuário.

Mesmo que a ABNT NBR 15575-3 (2013) já tenha requisitos de isolamento de ruído de impacto para edificações habitacionais brasileiras, o nível de desempenho requerido é bastante inferior em comparação ao desempenho de outros países. Por exemplo, o nível intermediário (I) é correspondente ao nível mínimo de vários países. Por isso, esse requisito é passível de melhoria em futuras revisões normativas. O Gráfico 01 apresenta um comparativo entre os níveis de isolamento ao ruído de impacto do Brasil em relação aos níveis mínimos de diferentes países (PROACÚSTICA, 2015).



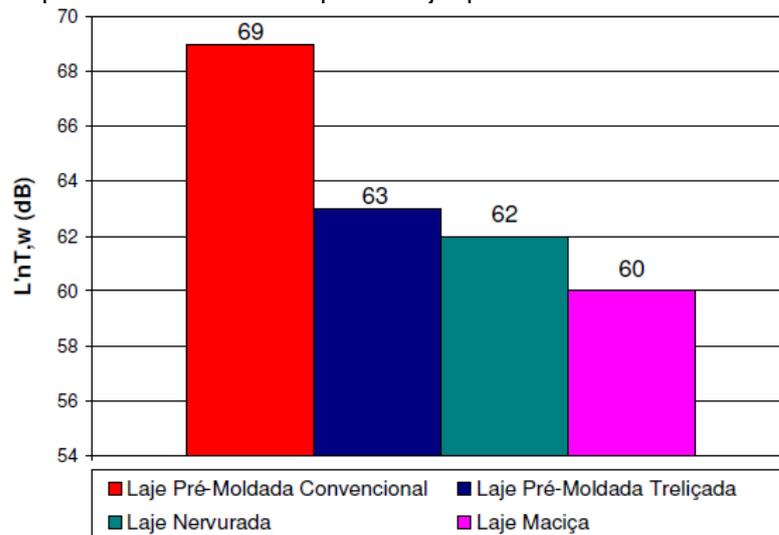
Fonte: PROACÚSTICA, 2015.

2.1.2 Fatores que influenciam o isolamento ao ruído de impacto

2.1.2.1 Tipo de laje

Pereyron (2008) demonstrou em seu estudo que o isolamento ao ruído de impacto depende do tipo de laje utilizada na edificação. Por exemplo, uma laje maciça apresenta um melhor isolamento do que uma laje treliçada, visto que o elemento maciço tem em sua composição mais massa e conseqüentemente maior rigidez. O Gráfico 02 mostra o desempenho de diferentes tipos de laje ensaiadas no trabalho do autor. É importante salientar que os ensaios foram conduzidos *in loco* em quatro tipos de laje: maciça e pré-moldada convencional, sendo estas com 12 cm de espessura, e pré-moldada treliçada e nervurada, ambas com 28 cm de espessura.

Gráfico 02 – Comparativo de diferentes tipos de laje quanto ao isolamento ao ruído de impacto.



Fonte: PEREYRON, 2008.

2.1.2.2 Espessura da laje

A espessura da laje é outro fator importante para o isolamento ao ruído de impacto, devido ao aumento da rigidez. Segundo Brondani (1999, *apud* OGAWA, FILHO e RASSI, 2014), ao aumentar a espessura de uma laje maciça em 1 cm, tem-se um ganho de 1 dB no isolamento, em média.

Por consequência, este fator pode ser adotado para o aumento do isolamento ao ruído de impacto. Entretanto, o aumento da espessura gera um custo muito grande e um maior carregamento no edifício. Por isso, esta técnica costuma não ser utilizada.

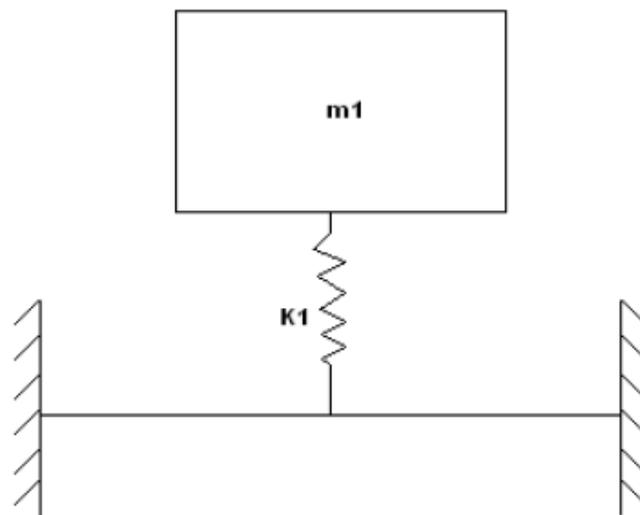
2.2 Mantas acústicas

As mantas acústicas instaladas em sistemas de piso flutuante são utilizadas para aumentar o isolamento acústico entre dois pavimentos consecutivos, tendo o objetivo de absorver e atenuar os ruídos de impacto gerados no piso. Esse tipo de piso é considerado a solução mais eficaz para reduzir o som de impactos, sendo que a manta pode ser constituída por uma ampla diversidade de materiais e seu comportamento frente ao amortecimento do impacto mecânico apresenta diferenças em comparação com materiais utilizados no isolamento ao ruído aéreo (ZUCHETTO, NUNES e PATRÍCIO, 2016).

O material é colocado entre a laje e o contrapiso e deve possuir características de uma camada resiliente. Ou seja, deve ser capaz de receber uma carga e posteriormente voltar ao seu estado normal (deformação elástica) sem perder suas propriedades. Além disso, precisa ter resistência mecânica, resistência química e ser incombustível (MÉNDEZ *et al.*, 1995 *apud* OGAWA, FILHO e RASSI, 2014).

Conforme Sousa (2008), o sistema de piso flutuante pode ser explicado facilmente através de um sistema massa-mola. Nesse caso, o contrapiso representa o corpo de massa m_1 ligada a laje estrutural por uma mola de rigidez K_1 , que caracteriza a rigidez da camada resiliente (Figura 04).

Figura 04 – Representação de um sistema massa-mola.



Fonte: SOUSA, 2008.

A manta acústica, por ser parte integrante do sistema de piso, deve possuir durabilidade e manter sua eficiência ao longo da vida útil do piso, resistindo às solicitações – tráfego de pessoas, queda de objetos, etc. – e assegurando suas propriedades ao longo do tempo (ZUCHETTO, NUNES e PATRÍCIO, 2016).

Führ (2016, p. 39) diz que “[...] torna-se necessário avaliar as propriedades dinâmicas dos materiais resilientes a fim de possibilitar a avaliação e o entendimento do desempenho do sistema de piso flutuante, em relação à redução do ruído de impacto[...]”.

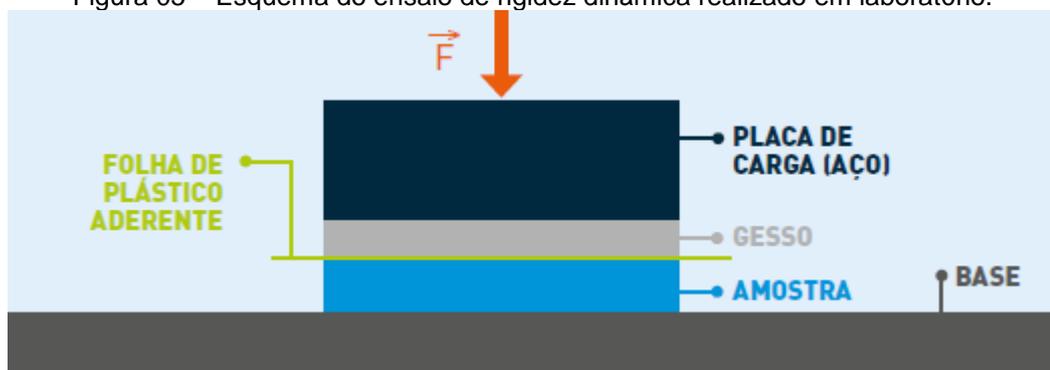
Dessa forma, surgem duas propriedades que podem definir a eficiência da manta no desempenho acústico: a rigidez dinâmica e a fluência na compressão.

2.2.1 Rigidez dinâmica

A rigidez dinâmica é considerada uma das principais características de um material resiliente pois ela apresenta correlação com a capacidade de redução do som de impacto de um sistema de piso. A rigidez dinâmica é inversamente proporcional à espessura de um material, sendo que valores de até 10 MN/m³ são considerados eficientes para camadas elásticas (CRIPS; FOVARGUE, 2004 *apud* ZUCHETTO, NUNES e PATRÍCIO, 2016).

Segundo PROACÚSTICA (2015), a rigidez dinâmica é determinada por ensaio em laboratório conforme a norma ISO 9052-1:1989, utilizando corpos de prova com dimensões de 200 mm x 200 mm, sujeitos a uma carga de 200 Kg/m² (Figura 05). O valor da rigidez dinâmica é dado pela relação entre a carga dinâmica aplicada na amostra e o deslocamento dinâmico sofrido pelo material. (ISO 9052-1, 1989 *apud* FÜHR, 2016).

Figura 05 – Esquema do ensaio de rigidez dinâmica realizado em laboratório.

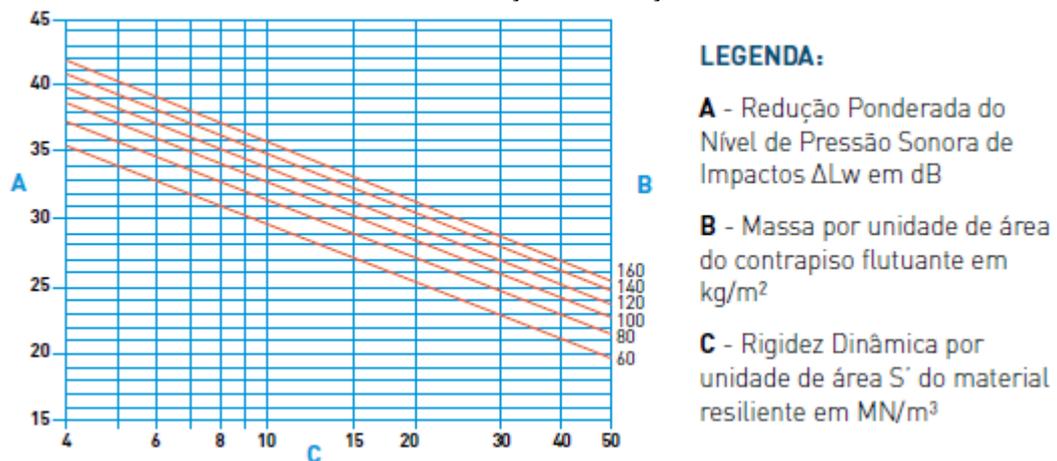


Fonte: PROACÚSTICA, 2015.

Neves, António e Nossa (2008) explicam que o valor da rigidez dinâmica (MN/m³) também pode ser obtido através da relação entre o módulo de elasticidade do material (MN/m²) e sua espessura (m).

Através da rigidez dinâmica e a respectiva carga por metro quadrado de contrapiso que será aplicada sobre o material acústico, pode-se estimar a redução ponderada do nível de pressão sonora de impactos (ΔL_w) do sistema de acordo com o gráfico (Gráfico 03) presente na norma ISO 15712-2:2005 (PROACÚSTICA, 2015).

Gráfico 03 – Estimação da redução sonora.



Fonte: ISO 15712-2, 2005 adaptado por PROACÚSTICA, 2015.

Silva, Patrício e Antonio (2012) apresentaram uma série de comparações entre as medidas de nível de redução sonora feitas em laboratório e a respectiva rigidez dinâmica de diferentes camadas resilientes em amostras de pequenos sistemas de pisos flutuantes. Os resultados estão presentes na Tabela 03.

Tabela 03 – Correlação entre rigidez dinâmica e redução sonora.

Rigidez dinâmica (MN/m^3)	ΔL_w medido* (dB)
100	16
87	18
50	20
23	24
15	30

* contrapiso flutuante com $80 kg/m^2$

Fonte: adaptado de SILVA, PATRÍCIO e ANTONIO, 2012.

É possível concluir que quanto menor o valor da rigidez dinâmica, maior é o nível de redução sonora. Do mesmo modo, PROACÚSTICA (2015) afirma que valores menores de rigidez dinâmica resultam em materiais capazes de absorver níveis maiores de vibrações produzidas por impactos. Ferraz (2008) também alega: “nas aplicações de controle de ruído, é interessante utilizar pequenos valores de rigidez dinâmica, ou seja, materiais com características mais elásticas possíveis”. Porém, conforme o autor é desejável, do ponto de vista estrutural, que o material seja também capaz de resistir às cargas e à aplicação do contrapiso sem fissurar.

2.2.2 Fluência na compressão

Ainda que uma das principais características da base elástica seja a rigidez dinâmica, a eficiência do material ao longo do tempo sofre muita influência de outra propriedade, a fluência na compressão. A manta acústica está sujeita a cargas acidentais ao longo de toda sua vida útil e, com isso, ocorrem deformações e consequentes reduções na sua espessura inicial. Isso pode prejudicar sua eficiência no amortecimento das vibrações e diminuir o desempenho acústico (ZUCHETTO, NUNES e PATRÍCIO, 2016).

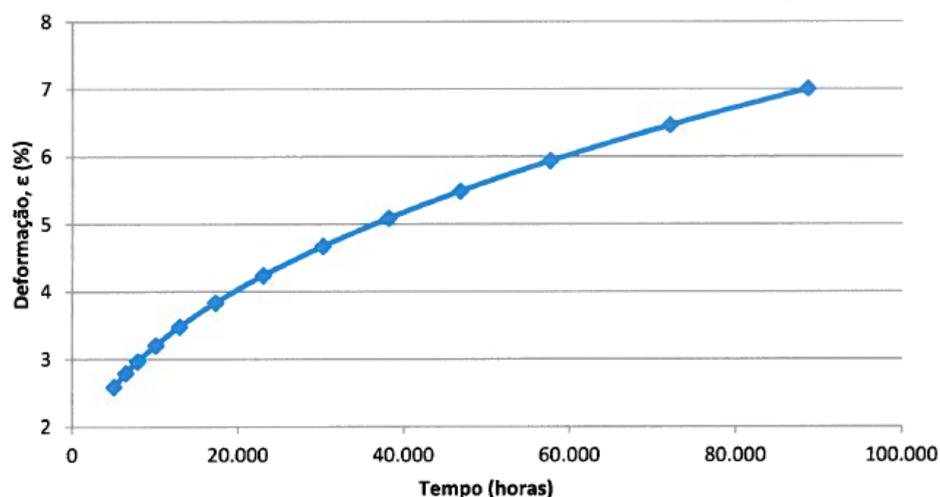
Schiavi *et al.* (2007) salientam que em alguns casos observa-se uma diferença entre a redução sonora medida e a estimada e uma das razões por esse desvio pode ser explicada pela redução da espessura da camada resiliente ao decorrer do tempo. Por causa disso, é necessário avaliar a possível redução dessa espessura para a completa caracterização das propriedades de isolamento.

Nesse contexto, Caniato *et al.* (2015 *apud* ZUCHETTO, NUNES e PATRÍCIO, 2016) esclarece que a correlação entre fluência na compressão, rigidez dinâmica e redução de ruído de impacto nas camadas resilientes de pisos flutuantes pode ser calculada através de ensaios com a projeção do tempo de uso. O autor indica, através de estudos, que a rigidez dinâmica pode ser considerada constante e a variação de redução sonora é menor que 3 dB se a deformação do material relativa a 7 anos for menor que 20%. De outro modo, se a deformação relativa em 7 anos for maior que 20%, a variação de redução sonora é maior que 3 dB.

De acordo com Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção – ITeCons (2014), a determinação da fluência em compressão é feita com base no procedimento descrito na norma BS EN 1606 (BSI, 2013) – *Thermal insulation products for building applications – Determination of compressive creep*, através da medição do aumento de deformação de uma amostra submetida a uma força constante de compressão em condições de temperatura, umidade e tempo específicas. O procedimento desta norma permite extrapolar o valor da fluência em compressão até 30 vezes o tempo de ensaio real efetuado. Ou seja, para uma medição real de 122 dias, é possível determinar a fluência em compressão para 10 anos.

Este ensaio é feito para três cargas diferentes (10 kN/m², 15 kN/m² e 20 kN/m²), sendo que para cada carga são utilizadas três amostras diferentes. Portanto tem-se o total de 9 amostras. Para cada carga, é feita a medição da espessura inicial (d_s) e a leitura da deformação inicial da amostra após 60 segundos da aplicação da carga (X_0). Posteriormente é feita a leitura das deformações subsequentes para o tempo indicado na norma, a partir do 7° dia até o 122° dia. Dessa forma, pode-se calcular a fluência em compressão (X_t) da amostra com a extrapolação do tempo para 10 anos. Finalmente, é possível obter a deformação relativa (ϵ_t) através da relação entre a fluência em compressão (X_t) e a espessura inicial (d_s) e gerar o gráfico linear/logarítmico da deformação relativa em função do tempo (Gráfico 04) (ITECONS, 2014).

Gráfico 04 – Fluência em compressão de uma amostra para uma carga de 10 kN/m².



Fonte: ITECONS, 2014.

Zuchetto, Nunes e Patrício (2016) concluem, portanto, que o comportamento dos materiais resilientes presentes no sistema de pisos flutuantes podem definir sua eficiência no isolamento ao ruído de impacto e as alterações decorrentes do tempo de utilização são fundamentais para definir estimativas de vida útil destes materiais. Neste estudo, os autores indicaram que a redução na espessura da camada resiliente pode ser um dos mais importantes aspectos a serem considerados na determinação da sua eficiência ao longo do tempo. O estudo estimou que após 10 anos de uso sob condições padrão de carga acidental, os sistemas de pisos flutuantes compostos por 5 amostras diferentes ensaiadas no trabalho tiveram uma perda de desempenho entre 3 e 4 dB.

2.2.3 Tipos de mantas acústicas

Atualmente existe uma ampla variedade de mantas acústicas no mercado para a atenuação de ruídos de impacto em edificações habitacionais. Schiavi *et al.* (2007) explica que basicamente a manta deve possuir duas propriedades principais: resiliência e compressibilidade baixa. Com isso, pode-se garantir uma melhor qualidade no isolamento acústico.

A empresa AUBICON possui uma linha de mantas acústicas fabricadas com matéria-prima de grânulos de pneus reciclados e que geram diminuição de ruídos de impactos e desempenho a longo prazo. Esse tipo de manta pode ser utilizado sob contrapisos ou diretamente sob revestimentos. Cada tipo possui dois exemplares e os níveis de redução de ruídos são apresentados na Tabela 04 (AUBICON, entre 2012 e 2016).

Tabela 04 – Níveis de ruído de impacto nas mantas acústicas da empresa AUBICON.

Tipo	Manta acústica	Espessura	L'nT,w (dB)	ΔLw (dB)
Sob contrapiso	Sound Soft Contrapiso	5 mm	Em laje protendida: 58 Em laje convencional: 49	Laje protendida: 14
	Sound Soft Ondulada	6/3 mm	*	22
		8/4 mm	*	24
		10/5 mm	*	25
		17/8 mm	*	27
Sob revestimento	Sound Soft Laje Zero	2 mm	68	16
	Sound Soft Piso Acabado	*	59	19

*: não foi informado

Fonte: Disponível em: <<https://www.aubicon.com.br/produtos/mantas-acusticas/>>.

No catálogo da empresa ACITAL (2018), existem três tipos de mantas acústicas, conforme o material de fabricação das mesmas. A manta EcoSilenzio é feita com fibra de poliéster e possui alto grau de desempenho. A manta FlexSilenzio possui duas variáveis, uma produzida com polietileno expandido e outra com polipropileno, sendo a última utilizada para lajes zero. A Tabela 05 a seguir demonstra alguns resultados de testes feitos com esse tipo de manta.

Tabela 05 – Níveis de pressão sonora de impacto padrão ponderado em mantas da empresa ACITAL.

Manta acústica	EcoSilenzio	FlexSilenzio PE		FlexSilenzio PP
Composição	100% fibra de poliéster	Poliétileno Expandido		Polipropileno
Espessura	8 mm	5 mm	10 mm	2 mm
Dimensões	1,2 m x 30 m	1,20 m x 50 m	1,20 m x 25 m	0,63 m x 50 m
Densidade	30 Kg/m ³	20 Kg/m ³	20 Kg/m ³	42 Kg/m ³
Rigidez Dinâmica	34 MN/m ³	52 MN/m ³	28 MN/m ³	86 MN/m ³
L'nT,w (laje em concreto armado 10 cm de espessura)	55	62	58	65

Fonte: ACITAL, 2018.

Pedroso (2007) analisou vários tipos de materiais frente ao desempenho como isolantes acústicos em camadas resilientes. O processo se deu através da medição dos níveis de redução de ruído de impacto das diferentes composições de piso utilizando dois tipos de revestimento, porcelanato e laminado de madeira. Os resultados do trabalho estão demonstrados na Tabela 06.

Tabela 06 – Isolamento acústico de diferentes materiais em camadas resilientes.

Tipo de piso	Material da camada resiliente	Densidade (kg/m ³)	Espessura (mm)	L'nT,w* (dB)	ΔL'nT,w** (dB)
Piso porcelanato	Referência (laje+revestimento)	-	-	73	-
	Lã de vidro	60	15	50	23
	Borracha reciclada (EVA)	130	8	62	11
	Borracha reciclada (EVA)	260	4	65	8
	Poliestireno expandido	27,5	25	62	11
	Poliestireno expandido	32,5	25	64	9
	Espuma de polietileno	27	5	65	8
Piso laminado de madeira	Referência (laje+revestimento)	-	-	75	-
	Lã de vidro	60	15	56	19
	Borracha reciclada (EVA)	130	8	67	8
	Borracha reciclada (EVA)	260	4	67	8
	Poliestireno expandido	27,5	25	63	12
	Poliestireno expandido	32,5	25	64	11
	Espuma de polietileno	27	5	67	8

* L'nT,w: nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado.

** ΔL'nT,w: diferença de L'nT,w entre a referência e o material analisado.

Fonte: adaptado de PEDROSO, 2007.

2.3 Contrapiso

O contrapiso é considerado um componente do sistema de piso de um edifício. Geralmente ele é executado sobre as lajes em edifícios de múltiplos pavimentos ou sobre lastro de concreto, e tem a função de regularizar a base para torná-la mais plana, nivelar a superfície, definir caimentos para ralos, servir para embutimento de instalações e melhorar o conforto acústico (SOUZA, 2007).

De acordo com Barros (1991), o contrapiso é entendido como um material lançado diretamente sobre uma base, ou sobre uma camada intermediária (de impermeabilização ou de isolamento térmico e acústico), com espessura e superfície adequadas ao atendimento de suas funções, cujas principais são: receber o revestimento de piso, transmitir as cargas de utilização para a laje, proporcionar desníveis adequados e declividade em áreas molháveis e ainda permitir o eventual embutimento de instalações.

Segundo Sabbatini *et al* (1989, *apud* BARROS, 1991), mesmo que esse elemento seja muito comum em obras no Brasil, verifica-se que não existe um consenso sobre suas técnicas de execução, persistindo uma grande variação para cada região do país. Em relação às características das argamassas empregadas, há diferenças quanto aos agregados, à dosagem e à espessura da camada. Muitas vezes essa camada é a principal responsável pela alteração do orçamento inicial.

A ABNT NBR 13753 (1996, p. 2), que aborda sobre “revestimentos de piso interno e externo com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante – Procedimento”, é a única norma que cita a camada de contrapiso, porém exclusivamente para a aplicação futura de revestimento cerâmico. Nela, o contrapiso é definido como sendo “uma camada de argamassa sobre a qual são assentados os revestimentos cerâmicos com argamassa colante”.

Ainda, a norma ABNT NBR 13753 (1996, p. 9) prescreve algumas exigências para o contrapiso no item 5.5:

5.5.1 O contrapiso (ou piso morto) deve ser executado diretamente sobre a base ou sobre a camada intermediária, e após um período de no mínimo sete dias após a conclusão da camada imediatamente inferior.

5.5.2 O contrapiso deve ser constituído por uma de argamassa de cimento e areia úmida, com traço recomendado em volume de uma parte de cimento para seis partes de areia, ou por argamassa de cimento, cal hidratada e areia média úmida, com traço recomendado em volume de 1:0,25:6, respectivamente.

5.5.3 A espessura do contrapiso deve estar compreendida entre 15 mm e 25 mm.

5.5.4 O contrapiso deve ser executado com antecedência mínima de sete dias em relação ao assentamento do revestimento cerâmico, visando diminuir o efeito da retração da argamassa sobre o piso cerâmico a ser executado. A superfície da base, ou a camada imediatamente anterior, deve estar isenta de tudo que possa prejudicar a aderência da argamassa do contrapiso.

NOTA – Bases antigas ou superfícies muito lisas devem ser apicoadas.

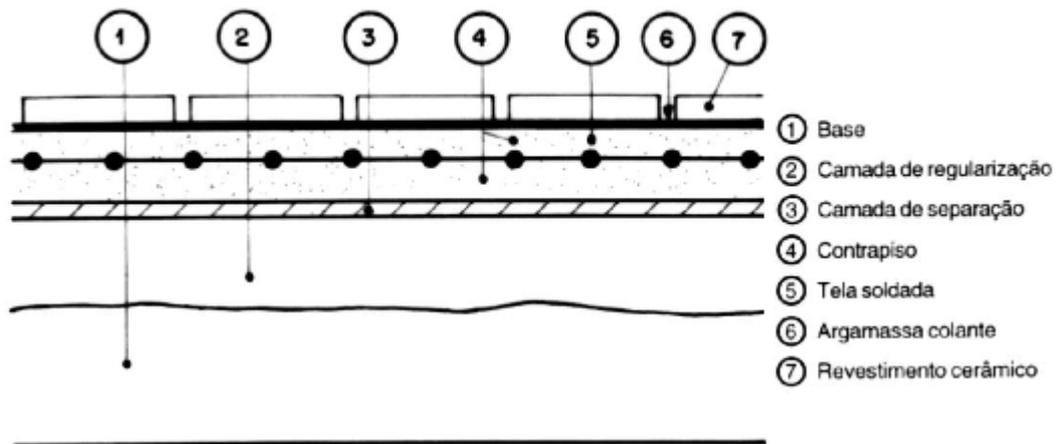
5.5.5 Antes do lançamento da argamassa, aplicar sobre a base uma ponte de aderência conforme 5.2.3.

5.5.6 Caso o contrapiso seja executado sobre a camada de separação observar os detalhes dados em 5.3.7 no tocante à inserção de tela metálica.

5.5.7 O acabamento da superfície do contrapiso deve ser executado na medida em que é lançada a argamassa, devendo esta superfície se apresentar com textura áspera, obtida por sarrafeamento ou ligeiro desempenamento.

Para complementar, o item 5.2.3 explica que a ponte de aderência é feita sobre a superfície previamente umedecida, sem poças de água, mediante aplicação de uma argamassa plástica com traço de 1:1 em volume (cimento e areia média) com auxílio de vassouras de pelo duro, imediatamente antes do lançamento da camada seguinte. O item 5.3.7 esclarece que sempre que for utilizada camada de separação, o contrapiso acima desta precisa ser reforçado com tela soldada de malha quadrada 50 mm x 50 mm e fios de diâmetro de 1,65 mm, colocada na metade da espessura da camada para a função de inibir tensões oriundas da retração das argamassas, conforme mostra a Figura 06 (ABNT NBR 13753, 1996).

Figura 06 – Contrapiso com reforço sobre camada de separação.



Fonte: adaptado de ABNT NBR 13753, 1996.

É importante salientar que esta norma não prevê sobre o tipo de cura necessário e as propriedades mecânicas esperadas. Além disso, não há especificações para outros tipos de revestimentos e métodos próprios de ensaio (RUBIN, 2015).

Galvão (2016) preconiza que o período de cura é um dos requisitos mais importantes do contrapiso. As condições de cura dependem das características ambientais, de temperatura e de umidade que o cimento está sujeito durante o processo de endurecimento. O objetivo principal é evitar a evaporação de água durante o período de hidratação do mesmo. Ao longo do tempo de cura ocorre a redução da porosidade e do diâmetro dos poros. O autor explica que para esse tipo de argamassa o tempo de cura deve ser de pelo menos 7 dias e deve-se cobrir toda a camada com membranas à prova de água para evitar a secagem rápida e consequente fissuração, de acordo com a norma europeia BS EN 8204-1 (BSI, 2003).

Para o sistema de piso ter um bom desempenho na sua utilização, é fundamental que o contrapiso atenda algumas características. Dentre as propriedades mais relevantes, pode-se citar a resistência mecânica e de aderência, a capacidade de absorver deformações, ter condições superficiais adequadas e durabilidade (BARROS, 1991). Outro fator que é significativo no sistema de piso é o isolamento acústico que o contrapiso pode proporcionar.

Logo após a execução do contrapiso, o componente tem a necessidade de absorver as solicitações de tráfego dos trabalhadores e depósito de materiais, devendo possuir resistência à abrasão, superficial e de compressão, principalmente. Na fase de utilização com o revestimento já aplicado, o contrapiso deve resistir aos esforços do trânsito de pessoas, do peso de móveis e equipamentos posicionados sobre o piso e da queda de objetos. Com isso necessita-se resistência à compressão, à tração e ao cisalhamento.

A compactação, definida pela relação entre o volume de vazios da argamassa e seu volume total, é muito importante no contrapiso já que determina a capacidade do material resistir ao esmagamento. Portanto, a camada deve apresentar-se compacta e homogênea em toda sua espessura. A presença de zonas de consistência menor, mais friáveis, é um sintoma de características mecânicas deficientes, que podem causar destacamento ou rupturas do contrapiso (GALVÃO, 2016). Dessa maneira ao desagregar-se o material pode prejudicar o desempenho do sistema de piso.

A resistência a aderência do contrapiso também é fundamental para que o sistema de piso tenha desempenho adequado. Essa propriedade é função do cuidado na execução do componente e da preparação do substrato antes da aplicação. Por exemplo, a aderência é melhor quando é criada uma ponte de aderência conforme o item 5.2.3 da norma NBR 13753 (ABNT, 1996). Além disso, deve proporcionar aderência com o revestimento aplicado para que o mesmo não solte. É importante notar que em contrapisos não aderidos ou flutuantes não é necessária a aderência com a laje, já que a camada fica solta.

Barros (1991) salienta que o contrapiso deve ser capaz de absorver as deformações, sem desagregar-se, sem apresentar fissuras excessivas e sem perder sua aderência com a base. De acordo com a autora, a capacidade de absorver deformações é inversamente proporcional ao teor de aglomerante da argamassa.

Pragosa (2012) conclui que o módulo de elasticidade da argamassa é importante para entender a sua deformabilidade e rigidez e ajudar a prevenir patologias, como por exemplo fissurações. De fato, Silva (2006a) mostra que através desse módulo pode ser medida a qualidade e a durabilidade de uma argamassa, já que esse valor é diretamente ligado à capacidade de absorver deformações. Ainda, a tendência para a fissuração por retração é maior quando a retração é elevada e quando a relação entre módulo de elasticidade e resistência à tração é maior (SOUZA, 2000 *apud* PRAGOSA, 2012).

O isolamento acústico no sistema de pisos é de certa forma dependente do contrapiso, dado que o mesmo aumenta consideravelmente esse isolamento. Neubauer (2009) constatou que o uso de contrapiso no sistema acaba tendo um desempenho acústico melhor que em sistemas com laje zero. Do mesmo modo, Rubin (2015) destaca a importância do uso e da correta aplicação do contrapiso para obter um melhor isolamento acústico.

2.3.1 Tipos de contrapiso

Quanto aos tipos de contrapiso, é comum diferenciá-los em relação ao meio de aplicação, sendo caracterizados como convencional ou autonivelante, ou também segundo o tipo de aderência entre o componente e a laje, podendo ser aderido, não aderido ou flutuante. Cada um possui características específicas que serão abordadas a seguir.

2.3.1.1 Contrapiso convencional

De acordo com Barros (1991), o contrapiso convencional é executado com argamassa plástica com consistência semelhante às argamassas de revestimento de alvenarias e teor de umidade na ordem de 20% a 25%, ou então feito com argamassa seca, denominada como “farofa”, a qual apresenta a mesma composição da argamassa plástica porém com um teor de umidade mais baixo, cerca de 50% inferior. A argamassa do tipo “farofa” é mais comum, sendo que o uso da argamassa plástica tem sido limitado, pois exige procedimentos específicos de adensamento e cura.

Cichinelli (2009) explica que, dependendo da sua função, o contrapiso convencional pode ter espessura variando de 2 cm a 6 cm. Além disso, para a sua execução em áreas internas de edifícios geralmente consome-se 200 a 250 kg de cimento por metro cúbico de argamassa, utilizando um traço de cimento e areia úmida na ordem de 1:5 a 1:7 em média, sendo que 1:6 é bastante usual. Fiorito (2009) também recomenda o traço 1:6 para argamassa de regularização.

Rubin (2015) estabeleceu através de levantamento e coleta de dados que o traço de argamassas para confecção do contrapiso tipo “farofa” é de 1:3 em volume de cimento e areia úmida, valor usual na região da cidade de Porto Alegre e que resulta em uma camada mais resistente.

2.3.1.2 Contrapiso autonivelante

O contrapiso autonivelante possui características especiais que o caracteriza como fluído. Através de aditivos, o material ganha fluidez e é capaz de preencher toda a área apenas com o peso próprio e a ação da gravidade, sem precisar de vibração ou compactação manual. A grande vantagem deste tipo de contrapiso é o ganho de produtividade, já que sua execução se torna mais ágil.

Téchne (2012) define esse tipo de contrapiso como “[...] um sistema composto por uma argamassa à base de cimento de alto desempenho, autoadensável, autonivelante, bombeável monocomponente e bastante fluida, de fácil aplicação.” O componente gera uma superfície lisa e plana e geralmente apresenta ótimos resultados em locais que necessitam de um grau elevado de planimetria, como garagens, estacionamentos, pátios e pisos industriais.

Em relação ao aumento de produtividade, para um pavimento de aproximadamente 500 m² a 600 m², no sistema convencional a execução do contrapiso demora cerca de quatro a cinco dias. No sistema autonivelante, é possível fazer o mesmo serviço em quatro ou cinco horas (EGLE, 2010).

Atualmente este sistema possui dois modos de fornecimento: a argamassa industrializada ensacada, que é comercializada seca e deve ser misturada com água no momento da sua aplicação, e a argamassa produzida em central e transportada por meio de caminhões betoneira até a obra, sendo que cada uma possui suas respectivas vantagens e desvantagens. A Tabela 07 apresenta as diferentes características entre cada forma de fornecimento, em comparação também com a argamassa convencional do tipo “farofa” (SOUZA, 2013).

Tabela 07 – Características das argamassas ensacada, dosada em central e do tipo farofa.

Argamassa de contrapiso ensacada	Argamassa de contrapiso dosada em central	Argamassa de contrapiso tipo farofa
-Não depende de entrega programada.	-A entrega precisa ser programados com antecedência.	-Não depende de entrega programada.
-Necessita de argamassadeira acoplada à bomba.	-A argamassa é lançada direto na bomba.	-A mistura é feita em betoneira convencional
-Necessita de mais mão de obra para transporte e mistura da argamassa.	-A mão de obra fica responsável apenas pelo bombeamento e espalhamento da argamassa.	-Necessita de mais mão de obra para transporte dos materiais e mistura da argamassa.
-Não depende diretamente do mercado das concreteiras.	-Mais susceptível a variações de demanda da central em outras áreas do mercado.	-Materiais comuns e encontrados com facilidade em depósitos de construção.
-Deve-se atentar para a correta dosagem da água de emassamento.	-Melhor controle da dosagem.	-Deve-se atentar para a correta dosagem dos materiais e da água de emassamento.
-A argamassa vai sendo produzida na medida em que será utilizada.	-A demora na entrega pode acarretar em perda do material.	-A argamassa vai sendo produzida na medida em que será utilizada.
-O uso não depende de infraestrutura de usina próxima à obra.	-O uso está condicionado à presença de usina próxima à obra.	-O uso não depende de infraestrutura de usina próxima à obra.

Fonte: SOUZA, 2013.

2.3.1.3 Contrapiso aderido

O contrapiso aderido tem como principal propriedade a de ficar aderido à base, ou seja, ele fica integrado à laje da edificação e a transmissão de cargas estáticas e dinâmicas para a mesma acontece de forma direta. Dessa maneira não existe camada intermediária entre o contrapiso e a laje.

Neste caso, antes de executar o contrapiso é recomendado que seja feita uma ponte de aderência, molhando a laje e polvilhando cimento sobre a superfície em quantidade aproximada de 0,5 kg/m² (NAKAKURA *et al*, 2012 *apud* SOUZA, 2013).

Para obtenção de melhor aderência também deve-se preparar a base, ou seja, ela precisa apresentar boa rugosidade de modo a aumentar a superfície de contato, estar isenta de material que possa prejudicar a aderência como óleos, graxas e poeira, ser previamente molhada para que não absorva a água da argamassa, prejudicando a hidratação do cimento na interface (BARROS, 1991).

Cichinelli (2009) explica a execução do contrapiso aderido através do seguinte procedimento:

- Primeiramente deve-se ter uma base limpa, sem qualquer material que possa prejudicar a aderência da camada. Assim, pode-se fazer a transferência de nível com o auxílio de um nível de mangueira ou nível a *laser* a partir do nível de referência e marcar a altura do contrapiso;
- Sobre a superfície limpa, jogar uma mistura de água e branco onde as taliscas (pedaço de cerâmica ou madeira) serão executadas. Posteriormente deve-se polvilhar cimento sobre a mistura e com a ajuda de um vassourão escovar a massa – essa mistura serve de ponte de aderência entre a laje e o contrapiso.
- Depois é feita a colocação das taliscas, prevendo caimento no sentido dos ralos. Com isso, deve-se conferir a altura das taliscas com um fio esticado.
- Em seguida, é necessário aplicar sobre toda a base uma mistura de aditivo e água, polvilhar cimento e escovar toda a área novamente com o auxílio do vassourão.
- Após isso, pode-se jogar a farofa do contrapiso e preencher os intervalos entre as taliscas com a ajuda de uma enxada. A argamassa deve ser compactada com um soquete de madeira até que a camada chegue no nível marcado. Depois deve-se sarrafear o material apoiando a régua nas taliscas.
- Sucessivamente é feito o desempenamento da massa, alisando-a e dando acabamento final. Assim, depois de seis horas o contrapiso fica pronto para receber o revestimento final.

2.3.1.4 Contrapiso não aderido

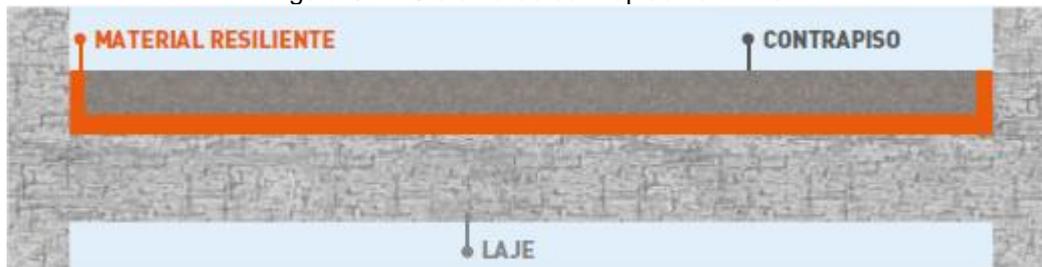
O contrapiso não aderido é caracterizado por ter uma fina camada que separa a laje e o componente. Assim, não é necessário ter aderência entre o contrapiso e a base para o sistema ter desempenho adequado.

Conforme Barros (1991), este tipo de contrapiso é aquele lançado sobre uma camada impermeável aderida à laje. Ou então lançado diretamente sobre a laje quando esta não é previamente preparada nem possui ponte de aderência, podendo inclusive conter óleos, graxas e materiais soltos, desde que não ataquem e prejudiquem o material.

2.3.1.5 Contrapiso flutuante

PROACÚSTICA (2015) define o contrapiso flutuante como sendo um sistema composto pelo contrapiso sobre um material resiliente, que pode ser composto por mantas, emulsões, entre outros, que o desvincula dos elementos estruturais e de vedação da edificação (Figura 07). Esse sistema é considerado mais efetivo para isolamento de ruídos de impacto, tendo pouco efeito no isolamento ao ruído aéreo.

Figura 07 – Sistema de contrapiso flutuante.



Fonte: PROACÚSTICA, 2015.

Da mesma maneira, Barros (1991) cita que o contrapiso flutuante é aquele lançado sobre uma camada intermediária não aderida à laje, que pode ser de separação, isolamento ou impermeável. O contrapiso fica separado da base e dos demais elementos e componentes do edifício e sua espessura varia em função da compressibilidade dos materiais utilizados.

AUBICON (2015) ressalta que ao executar o contrapiso sobre manta, surge a necessidade de a camada de argamassa suportar as cargas em que ela é submetida e aos esforços causados pela retração, característica comum em elementos cimentícios, de modo a garantir uma durabilidade compatível com a vida útil de toda estrutura e mantendo níveis de desempenho adequados para o bem-estar e a qualidade de vida dentro dos ambientes. Portanto, para garantir as características mencionadas, a camada de contrapiso deve ser executada corretamente com o uso adequado dos materiais. Essa camada é composta por uma argamassa cimentícia de consistência seca e pode ser reforçada com o uso de telas de aço ou fibras, conforme for o caso. A Figura 08 demonstra a estrutura da camada.



Fonte: PROACÚSTICA, 2015.

Ao utilizar uma camada intermediária de isolamento, o contrapiso deve possuir características específicas em relação ao tradicional. Em geral, sua composição é igual, com argamassa de cimento e areia e com a consistência seca (tipo “farofa”), com umidade aproximada de 12%. Entretanto, este tipo de contrapiso precisa ser reforçado com armadura. As características da armadura e a espessura da camada flutuante variam em função das características da camada isolante, principalmente da compressibilidade. Por exemplo, quanto maior a compressibilidade da mesma, maiores serão os esforços de tração introduzidos no contrapiso e, dessa maneira, sua espessura e seu reforço terá que ser maior. A Tabela 08 exemplifica as características geométricas do contrapiso flutuante e da armadura com tela de aço, em função da camada de isolamento (TÉCHNE, 2010).

Tabela 08 – Características do contrapiso flutuante em função da camada de isolamento.

Camada de isolamento	Contrapiso	
Classe de compressibilidade	Espessura mínima (mm)	Características da armadura
Espessura \leq 3 mm, desconsiderada a compressibilidade	30	0,9 x 0,9 / 50 x 50 (220 g/m ²)
	40	Possível sem armadura
Espessura \leq 3 mm e compressibilidade \leq 0,5 mm	40	0,9 x 0,9 / 50 x 50 (220 g/m ²)
	50	Possível sem armadura
0,5 mm < compressibilidade \leq 3 mm	40	0,9 x 0,9 / 50 x 50 (220 g/m ²)
	50	Possível sem armadura
3 mm < compressibilidade \leq 12 mm	40	1,4 x 1,8 / 100 x 100 (335 g/m ²)
	50	0,9 x 0,9 / 50 x 50 (220 g/m ²)

Fonte: adaptado de CSTB, 1982 *apud* TÉCHNE, 2010.

AUBICON (2015) demonstra algumas recomendações para reforços em contrapiso sobre manta acústica, com uso de tela ou com adição de fibras. A sugestão é mostrada na Tabela 09 e se dá em função da espessura da camada e da dimensão do ambiente interno onde o componente irá ser executado.

Tabela 09 – Reforços recomendados na camada de contrapiso.

Máxima dimensão da sala (m)	Espessura média da camada de argamassa (cm)				
	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
3,0	Sem reforços	Sem reforços	Sem reforços	Sem reforços	Sem reforços
4,0	0,6 kg/m ³ MF	0,6 kg/m ³ MF	0,6 kg/m ³ MF	0,6 kg/m ³ MF	0,6 kg/m ³ MF
5,0	0,6 kg/m ³ MF (*)	0,6 kg/m ³ MF (*)	0,6 kg/m ³ MF (*)	0,6 kg/m ³ MF (*)	0,6 kg/m ³ MF (*)
6,0	0,6 kg/m ³ MF (*)	0,6 kg/m ³ MF (*)	0,6 kg/m ³ MF (*)	1 Tela ou FEP	1 Tela ou FEP
7,0	1 Tela ou FEP	1 Tela ou FEP	1 Tela ou FEP	1 Tela ou FEP	2 Telas ou FEP
8,0	1 Tela ou FEP	1 Tela ou FEP	1 Tela ou FEP	2 Telas ou FEP	2 Telas ou FEP
9,0	1 Tela ou FEP	1 Tela ou FEP	2 Telas ou FEP	2 Telas ou FEP	2 Telas ou FEP
10,0	1 Tela ou FEP	1 Tela ou FEP	2 Telas ou FEP	2 Telas ou FEP	2 Telas ou FEP
11,0	1 Tela	1 Tela	2 Telas	2 Telas	2 Telas
12,0	1 Tela	2 Telas	2 Telas	2 Telas	2 Telas

LEGENDA: MF - microfibras; FEP - fibras estruturais poliméricas (macrofibras)

(*) Em ambientes de até 6,0 m pode-se utilizar 0,6 kg/m³ MF, se for adotado um controle rigoroso para a execução do contrapiso

Fonte: adaptado de AUBICON, 2015.

Observa-se que à medida que a dimensão do ambiente é maior, é necessário um aumento do reforço, sendo que para ambientes de até 3 metros não é necessário reforço, de 4 a 6 metros é possível o uso de microfibras (MF), de 6 a 10 metros pode ser utilizado tela de aço ou fibras estruturais poliméricas (FEP) e a partir de 11 metros o reforço é feito apenas com tela de aço.

Ainda conforme AUBICON (2015), a argamassa do contrapiso deve possuir alguns requisitos para a execução do sistema. É recomendado que o material tenha um traço desenvolvido por um laboratório, de acordo com as premissas estabelecidas na Tabela 10, considerando as características dos materiais disponíveis na região. Todavia, a Tabela 11 demonstra alguns traços orientativos para servir de base na definição do traço a ser utilizado na obra específica.

Tabela 10 – Requisitos exigidos para a argamassa de regularização.

Características	Especificações
Fator água/cimento	< 0,4
Consistência de aplicação	Seca ("Farofa")
Densidade após compactação (estado endurecido)	> 2Kg/Litro
Resistência à Compressão (NBR 13279)	> 10,0 MPa
Resistência à tração na flexão (NBR 13279)	> 1,0 MPa
Retração aos 56 dias (NBR 15261)	< 200 µm/m

Fonte: AUBICON, 2015.

Tabela 11 – Referência de traços orientativos.

Características	Especificações
Traço sem pedrisco (espessuras ≤ 35 mm)	1:3 ou 1:4 (cimento:areia)
Traço sem pedrisco (espessuras > 35 mm)	1:2,5:1,5 ou 1:2:2 (cimento:areia:pedrisco)

Fonte: AUBICON, 2015.

2.3.1.5.1 Execução contrapiso flutuante

A instalação do contrapiso flutuante tem algumas peculiaridades, visto que deve existir o cuidado desde a colocação da camada de isolamento acústica. É necessário evitar, por exemplo, que se tenha pontes acústicas que prejudiquem o isolamento acústico entre pisos. Dessa maneira, TÉCHNE (2010) recomenda que o piso acústico tenha um projeto específico contendo informações quanto ao tipo de isolamento acústico e suas características de densidade e compressibilidade, a espessura do contrapiso em cada ambiente, a armadura de reforço e detalhes construtivos como juntas de movimentação, posicionamento das armaduras e características da argamassa.

Antes de tudo, deve-se proceder com a limpeza da base em todo o pavimento, removendo materiais e detritos que possam prejudicar o nivelamento ou possam perfurar a manta acústica. Com isso, pode-se fazer o mapeamento dos níveis das lajes, para então definir a espessura real que o contrapiso deve ter, que varia em função da planicidade da laje, dos desníveis estabelecidos entre ambientes e do revestimento de piso previsto (TÉCHNE, 2010).

Em seguida é feita a instalação da manta acústica de acordo com os requisitos de isolamento especificados ao projeto. Nesta etapa é importante colocar a manta sobre toda a laje do ambiente, cuidando com a sobreposição entre mantas e nos encontros da laje com as paredes. Entre uma manta e outra as bordas precisam ficar sobrepostas em no mínimo 5 cm. Em todo perímetro do ambiente deve-se ainda aplicar a manta nas faixas de rodapé para que o contrapiso executado não fique em contato com as paredes. Em seguida é colocada uma lona plástica para evitar que a argamassa penetre na manta (Figura 09). Por cima desta são executadas as taliscas para auxiliar o nivelamento do contrapiso. (AUBICON, 201?).

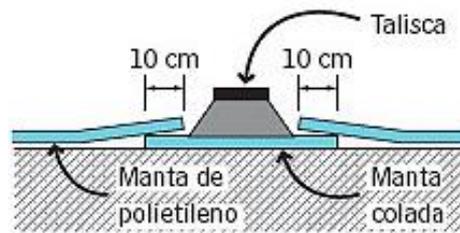
Figura 09 – Lona plástica colocada sobre a manta acústica.



Fonte: PROACÚSTICA, 2015.

Por outro lado, TÉCHNE (2010) recomenda o assentamento das taliscas sobre pedaços de manta acústica de 30 cm por 30 cm previamente à instalação da manta sobre todo o ambiente, fixando a manta na laje com cola branca à base PVA para evitar pontes acústicas. Nesse caso, a manta é colocada depois cuidando-se para deixar 10 cm de sobreposição nas emendas, inclusive no material onde se encontra a talisca (Figura 10), e pelo menos 15 cm na região do rodapé.

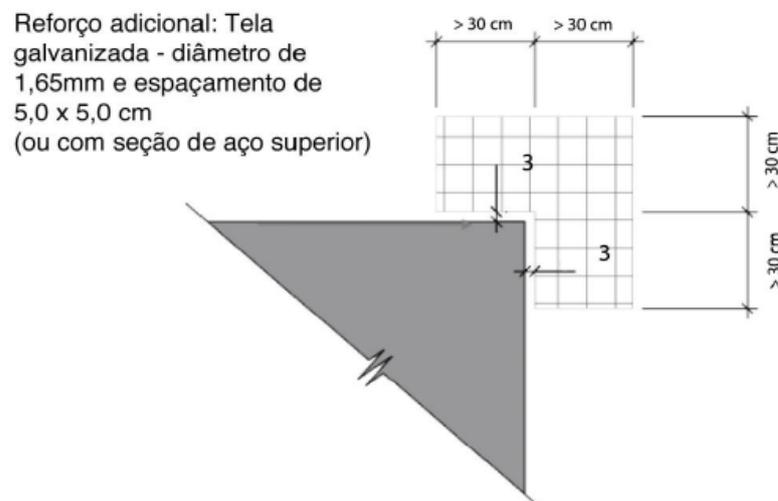
Figura 10 – Detalhe da sobreposição das mantas na região das taliscas.



Fonte: TÉCHNE, 2010.

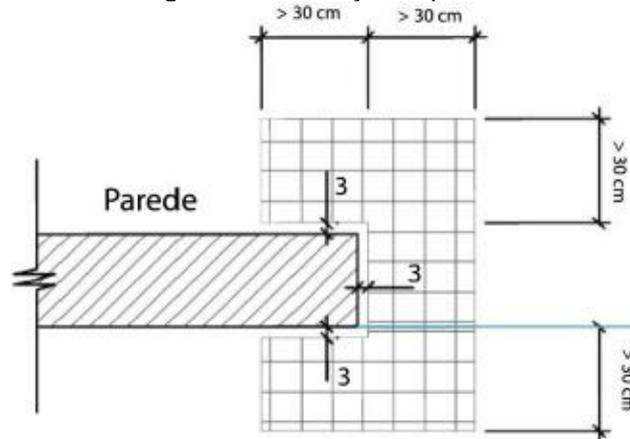
Posteriormente o contrapiso pode ser executado, tendo a atenção de que a espessura de cada camada seja limitada em 35 mm para realizar a compactação com um soquete ou compactador de forma que a espessura final e a densidade do material estejam de acordo com as especificações. Caso seja necessário o reforço com tela, ela deve ser inserida na argamassa de modo que fique posicionada no meio da camada. Além disso, deve-se reforçar os cantos reentrantes e paredes das portas, conforme as Figura 11 e Figura 12, respectivamente (AUBICON, 2015).

Figura 11 – Reforço em cantos reentrantes.



Fonte: AUBICON, 2015.

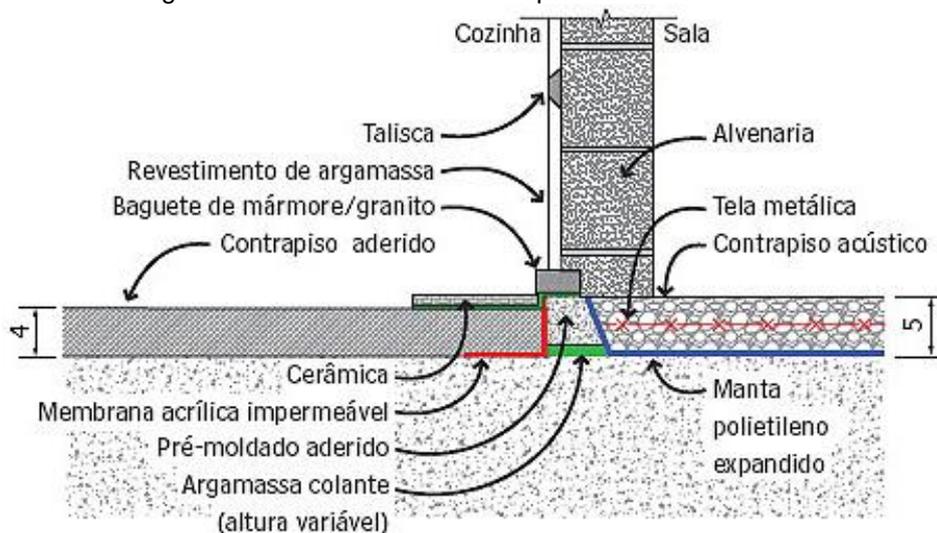
Figura 12 – Reforço em portas.



Fonte: AUBICON, 2015.

Alguns detalhes são indispensáveis para o correto funcionamento do material isolante. Por exemplo, deve-se criar juntas de movimentação na região dos batentes, e na interface entre o contrapiso flutuante e o contrapiso aderido recomenda-se o uso de um pré-moldado de argamassa ou microconcreto, como mostra a Figura 13 abaixo (TÉCHNE, 2010).

Figura 13 – Interface entre contrapiso flutuante e aderido.



Fonte: TÉCHNE, 2010.

Outro fator importante é a cura da argamassa após sua execução. Esse processo pode ser feito com mantas absorventes, resistentes às condições de serviço, sem apresentarem furos ou rasgos. A perda de água deve ser inferior a 0,55 g/m² em 72 horas, quando ensaiadas conforme o método ASTM C 156 (2017). É fundamental molhar a manta uma ou mais vezes por dia, dependendo das condições climáticas do local. Pode-se também utilizar lonas plásticas ou outros métodos de cura como alternativa, desde que se mantenha a superfície do contrapiso saturada pelo período mínimo de 7 dias (AUBICON, 2015).

Ainda de acordo com AUBICON (2015), para garantir a qualidade e o bom desempenho do sistema, é necessário atentar-se a algumas especificações e realizar ensaios para o controle de execução, conforme mostra a Tabela 12.

Tabela 12 – Controle de execução do contrapiso flutuante.

Ensaio	Especificação	Frequência	Norma
Consistência	Seca (na umidade ótima)	Todas as betonadas	
Resistência à compressão (f_{ck})	$\geq 10,0$ MPa	1 exemplar (2 cp`s) a cada betonada	NBR 13279
Resistência à tração na flexão	$\geq 1,0$ MPa	1 exemplar (2 cp`s) a cada betonada	NBR 13279
Densidade	$\geq 2,0$ kg/litros	1 exemplar (2 cp`s) a cada betonada	NBR 13278 / NBR 13280
Retração (8 semanas)	$\leq 200\mu\text{m}/\text{m}$	1 ensaio (2 cp`s) a cada 120m ²	ASTM C 157
Acabamento	Desempenado / Rústico	Após a execução de cada faixa	Identificação visual

Fonte: AUBICON, 2015.

2.3.2 Patologias em contrapiso

As patologias que ocorrem no sistema de pisos comprometem seu estado e prejudicam seu desempenho, causando desconforto aos usuários. Muitas vezes essas patologias podem ser relacionadas ao contrapiso mal executado, com dosagens inadequadas ou o uso de técnicas inadequadas de cura do material. Geralmente as manifestações patológicas que ocorrem no contrapiso são percebidas após a execução do revestimento, ou seja, o tratamento é difícil e custoso, sendo necessário remover tudo e executar novamente. Por isto, a seguir são mostradas a seguir algumas patologias referentes a contrapisos e maneiras adequadas para prevenção das mesmas.

2.3.2.1 Fissuras

Esse tipo de patologia é muito comum em contrapisos. Sua origem é devida, principalmente, à retração e à concentração de cargas em pontos específicos do material.

Em relação à retração, existem dois momentos em que este fenômeno acontece: primeiramente, quando o compósito ainda está no estado plástico ocorre a retração plástica do material devido à perda de água da argamassa, que retrai à medida que vai endurecendo, diminuindo seu volume e gerando fissuras por toda a área da camada (Figura 14). Nesta fase, o contrapiso apresenta baixa resistência à tração e as fissuras podem aparecer facilmente. Em um segundo momento, quando a argamassa atinge o estado endurecido ocorre a retração por secagem. Nesta fase o material continua a perder água para o ambiente, podendo causar fissuras. (MONTARDO, 2009). Vários motivos podem ser citados como causa deste problema, porém a retração se dá principalmente devido ao processo de cura inadequado, ao calor excessivo ou à presença de água excessiva na mistura (BARROS, 2012).

Figura 14 – Fissuras superficiais por retração plástica do contrapiso.



Fonte: BARROS, 2012.

Fissuras também podem ocorrer devido à concentração de cargas em pontos específicos do contrapiso, principalmente do tipo flutuante, como em cantos de paredes e pilares, ou então devido à diferenciais de temperatura, por exemplo em portas que dividem ambientes com temperaturas diferentes (Figura 15). A causa deste tipo de fissura é por causa da falta de reforços nestes pontos (BARROS, 2012).

Figura 15 – Fissuras em locais de concentração de cargas no contrapiso.



Fonte: BARROS, 2012.

2.3.2.2 Desplacamento

O deslocamento do contrapiso é caracterizado como a separação do contrapiso e o substrato, podendo ocorrer tanto em contrapisos aderidos quanto não aderidos (Figura 16). No primeiro caso o contrapiso apresenta som oco quando se bate com martelo (BARROS, 2012).

Ainda conforme Barros (2012), as causas desta patologia estão relacionadas com a presença de materiais como óleos e poeira no substrato onde o contrapiso é aplicado, a baixa resistência do compósito, cargas elevadas sobre a camada, água em excesso na mistura, procedimento de cura inapropriado, entre outros.

Figura 16 – Desplacamento em contrapiso aderidos (a) e não aderidos (b).



a)



b)

Fonte: BARROS, 2012.

2.3.2.3 Esfarelamento e presença de pó na superfície

O contrapiso que apresenta esfarelamento e presença de pó na superfície indica que a resistência superficial do material é baixa. Essa patologia muitas vezes está relacionada com a exsudação que pode acontecer no contrapiso quando há água em excesso na mistura, a utilização de um traço fraco e a falta de compactação do material. Com isso, a camada superficial oferece pouca resistência e acaba esfarelando com o tráfego das pessoas.

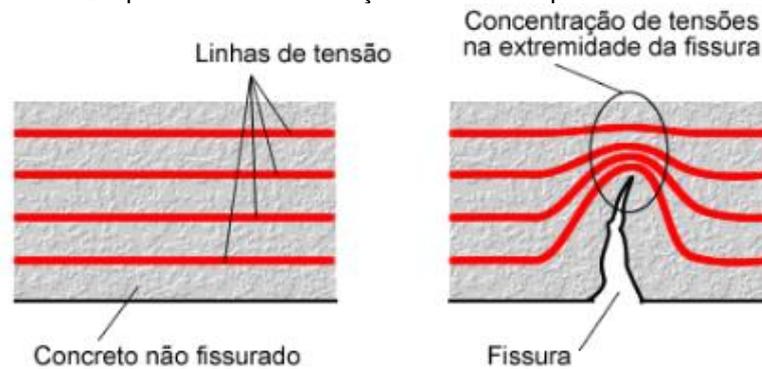
2.3.2.4 Superfícies irregulares

A falta de planicidade da camada e a consequente falta de caimento para ralos é outra patologia comum em contrapisos. Uma superfície irregular pode causar desníveis inadequados e gerar acúmulo de água em pontos indesejáveis que, com o tempo, pode se infiltrar no contrapiso e provocar a degradação do mesmo. Este problema é relacionado predominantemente com erros durante a execução do sistema, como a medição incorreta dos níveis, posicionamento errado das taliscas e o inadequado sarrafeamento da camada (BARROS, 2012; MAPEI, 2012).

2.4 Fibras utilizadas no reforço do contrapiso

Segundo Góis (2010), o concreto e a argamassa possuem limitações devido ao seu comportamento frágil, pela baixa resistência a tração e baixa capacidade de deformação. Por esse motivo, microfissuras são geradas nesses elementos e geralmente pouca energia é necessária para que ocorra o aumento destas fissuras. Quando o material é submetido à tração ou flexão, os esforços se concentram nas extremidades das microfissuras existentes e ocorre o crescimento das mesmas, conforme mostra a Figura 17.

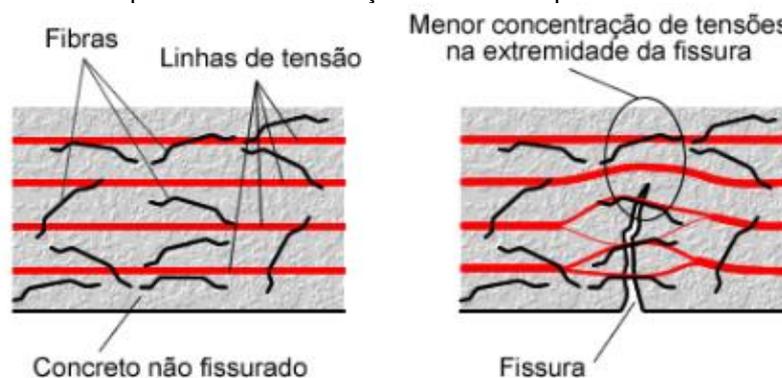
Figura 17 – Esquema da concentração de tensões para concreto sem fibras.



Fonte: BARROS, 2009.

Nesse contexto, surge a possibilidade de se reforçar o concreto com fibras. De acordo com Barros (2009), as fibras adicionadas aos elementos de concreto ou argamassa funcionam como “pontes” de transferência de tensões, evitando a concentração das tensões na extremidade da fissura (Figura 18), como explicado anteriormente.

Figura 18 – Esquema da concentração de tensões para concreto com fibras.



Fonte: BARROS, 2009.

Desse modo, elas proporcionam melhores características, como a redução de fissuras e o aumento da tenacidade e resistência à tração. Para isso, elas são misturadas junto ao concreto ainda em seu estado fresco e necessitam ser dosadas de forma correta para evitar problemas.

O concreto com fibras é considerado compósito, ou seja, um material constituído de, pelo menos, duas fases distintas principais, que neste elemento é a matriz de concreto e as fibras. As fibras são definidas como componentes descontínuos, cujo comprimento é bem maior que as dimensões da seção transversal da mesma (FIGUEIREDO, 2011a).

Atualmente, no mercado da construção civil as fibras de aço e as fibras poliméricas sintéticas (microfibras e macrofibras) são as mais utilizadas para o reforço do concreto, sendo que cada uma possui características e propriedades distintas. Desse modo, a Tabela 13 demonstra algumas propriedades de diversos tipos de fibras.

Tabela 13 – Propriedades de fibras encontradas no mercado da construção civil.

Material	Diâmetro (µm)	Densidade (g/cm³)	Módulo de elasticidade (GPa)	Resistência à tração (MPa)	Deformação na ruptura (%)
Aço	5-500	7,84	190-210	500-2000	0,5-3,5
Vidro	9-15	2,60	70-80	2000-4000	2-3,5
Amianto - Crocidolite	0,02-0,40	3,40	196	3500	2-3
Amianto - Crisolite	0,02-0,40	2,60	164	3100	2-3
Polipropileno	20-400	0,90-0,95	3,50-10	450-760	15-25
Kevlar	10-12	1,44	63-120	2300-3500	2-4,5
Carbono	8-9	1,60-1,70	230-380	2500-4000	0,5-1,5
Náilon	23-400	1,14	4,10-5,20	750-1000	16-20
Celulose	-	1,20	10	300-500	-
Acrílico	18	1,18	14-19,50	400-1000	3
Poliétileno	25-1000	0,92-0,96	5	80-600	3-100
Fibra de madeira	-	1,50	71	900	-
Sisal	10-50	1,50	-	800	3
Matriz de cimento (para comparação)	-	1,50-2,50	10-45	3-7	0,02

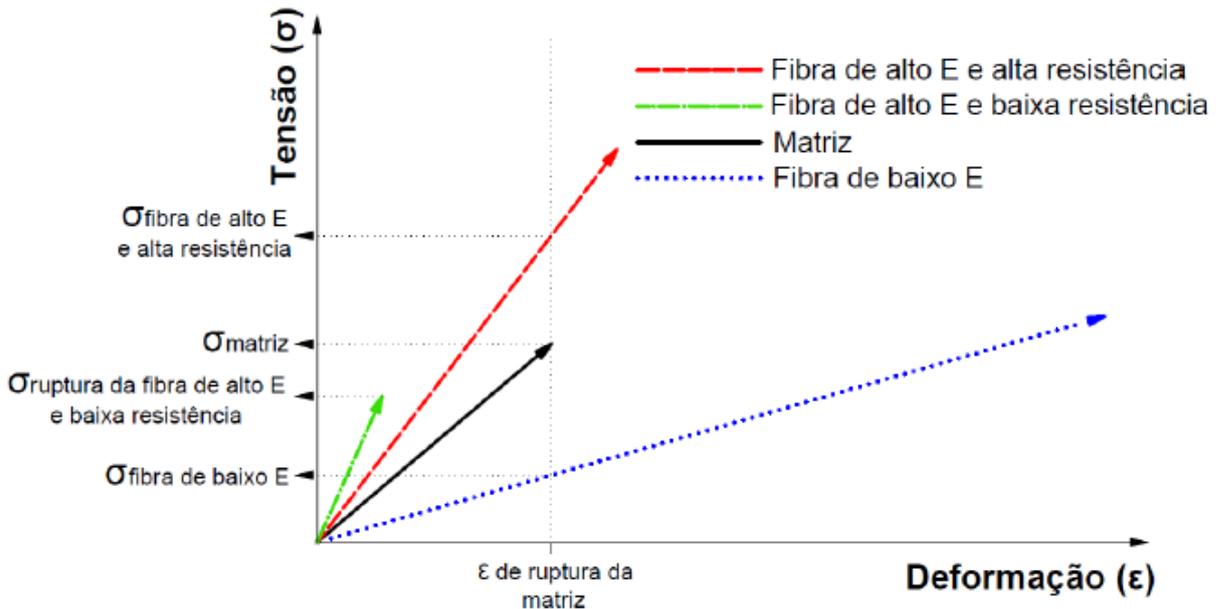
Fonte: adaptado de BENTUR e MINDESS (2007), *apud* LEITE (2018).

Segundo Figueiredo (2011a, p. 3),

O material constituinte da fibra irá definir o módulo de elasticidade e a resistência mecânica da mesma, as quais são duas das propriedades que mais influenciam a capacidade de reforço que a fibra pode proporcionar ao concreto. As fibras que possuem módulo de elasticidade inferior ao do concreto endurecido, como as poliméricas, são chamadas de fibras de baixo módulo. Já as fibras que possuem módulo de elasticidade superior ao do concreto são conhecidas como fibras de alto módulo, como é o caso das fibras de aço e de carbono.

Dessa forma, as principais propriedades que influenciam no desempenho do concreto reforçado com fibras são a sua resistência e o módulo de elasticidade. O Gráfico 05 mostra o diagrama tensão-deformação de uma matriz de referência reforçada com três tipos de fibra com diferentes características (FIGUEIREDO, 2011a).

Gráfico 05 – Diagramas tensão-deformação de diferentes tipos de fibra.



Fonte: FIGUEIREDO (2011a), adaptado por LEITE (2018).

Conforme explica Figueiredo (2011a), em uma situação hipotética considerando uma perfeita aderência entre os elementos do compósito, no momento da ruptura da matriz de concreto as fibras de baixo módulo alcançam tensões relativamente baixas, sendo necessário um teor elevado destas fibras para que possam suportar a tensão transferida pela matriz. Caso haja um baixo consumo destas fibras, acabam ocorrendo deformações consideráveis e, conseqüentemente, fissuras com aberturas elevadas. Devido a isso, este tipo de fibra não é a mais recomendada para reforços de concreto, mas sim para controle da fissuração por retração plástica do material.

Por outro lado, as fibras de alto módulo de elasticidade atingem uma tensão maior do que a da matriz para uma determinada deformação. Por isso, as mesmas são adequadas para o reforço do concreto, desde que possuam resistência maior que da matriz. Caso a resistência da fibra seja menor que do concreto, ocorre a ruptura da mesma antes da matriz, não sendo vantajoso o seu uso como reforço (Figueiredo, 2011a).

2.4.1 Fibras de aço

As fibras de aço devem ter suas especificações em conformidade com a ABNT NBR 15530:2007 – Fibras de aço para concreto – Especificação. Esta norma estabelece parâmetros para a classificação das fibras de aço com baixo teor de carbono e define requisitos mínimos para as formas geométricas, tolerâncias dimensionais, defeitos de fabricação, resistência à tração e dobramento.

A fibra de aço possui um módulo de elasticidade elevado. Em função disto, é adequada para o reforço de concretos para fins estruturais, podendo até mesmo substituir totalmente a armadura convencional em algumas aplicações.

Em relação à classificação para as fibras de aço, a ABNT NBR 15530 (2007) cita três tipos básicos de fibras em função de sua geometria: o Tipo A indica a fibra com ancoragens nas extremidades (Figura 19), o Tipo C corresponde a fibra de aço corrugada e o Tipo R refere-se à fibra de aço reta.

Figura 19 – Fibra de aço com ancoragens nas extremidades.

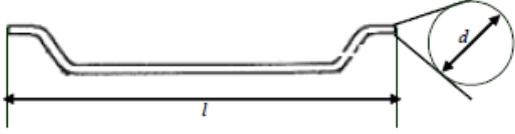
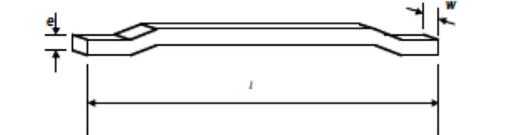
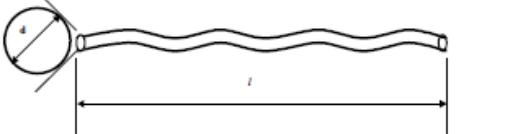
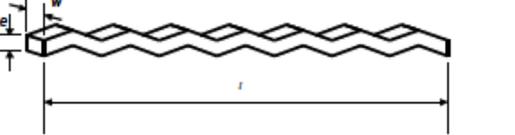
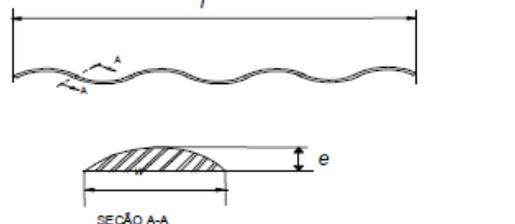
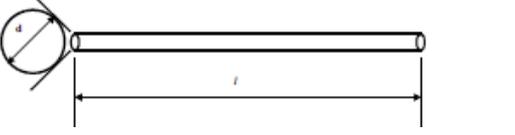
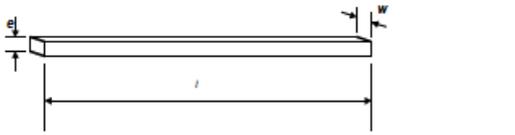


Fonte: ARCELORMITTAL, 2016.

Outra classificação é feita conforme as classes, as quais são definidas segundo o aço que deu origem às mesmas: a Classe I equivale a fibra de arame trefilado a frio, a Classe II representa a fibra de chapa laminada cortada a frio e a Classe III indica a fibra de arame trefilado e escarificado.

Dessa forma, a Tabela 14 apresenta a relação entre a classe e o tipo de cada fibra, em conjunto com sua respectiva geometria.

Tabela 14 – Classificação e geometria das diferentes fibras de aço.

Tipo	Classe da Fibra	Geometria
A	I	
	II	
C	I	
	II	
	III	
R	I	
	II	

Fonte: adaptado de FIGUEIREDO, 2011b.

A ABNT NBR 15530 (2007) estabelece também requisitos e tolerâncias quanto a geometria da fibra e a resistência do aço. Um dos principais fatores relacionado à geometria da fibra é o fator de forma, que influencia diretamente o seu desempenho já que quanto maior é este fator, maior é a tenacidade medida (FIGUEIREDO; NETO; FARIA, 2008). O fator de forma é definido pela ABNT NBR 15530 (2007) como a relação entre o comprimento e o diâmetro equivalente da fibra. Esse diâmetro equivalente corresponde a uma circunferência de mesma área que a seção transversal da fibra. A Tabela 15 demonstra os requisitos de fator de forma e limite de resistência a tração das fibras de aço.

Tabela 15 – Requisitos da NBR 15530 para as fibras de aço.

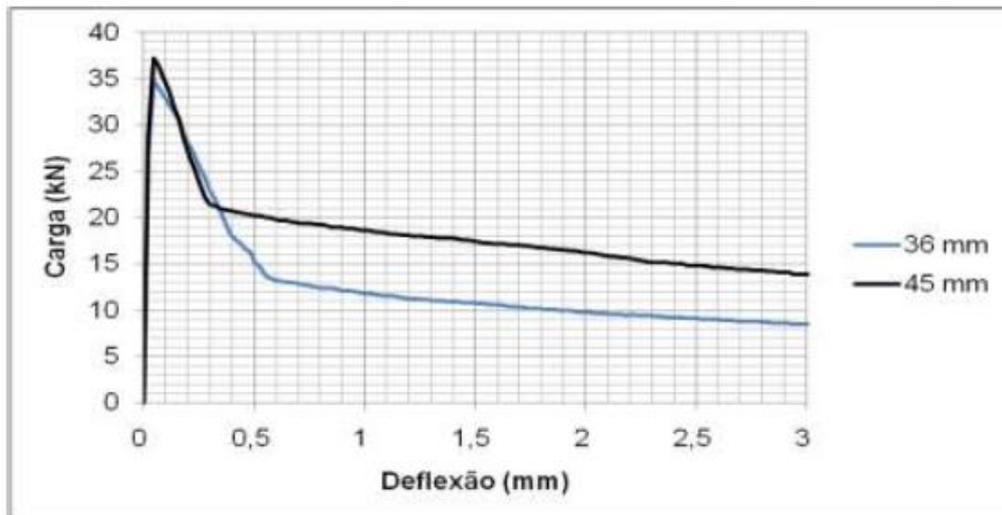
Fibra	Fator de forma mínimo λ	Limite de resistência à tração do aço (MPa)
A I	40	1000
A II	30	500
C I	40	800
C II	30	500
C III	30	800
R I	40	1000
R II	30	500

Fonte: adaptado de FIGUEIREDO; NETO; FARIA, 2008.

Conforme citado anteriormente, quanto maior é o fator de forma, a tenacidade do compósito será proporcionalmente aumentada. Apenas por isso, poderia se buscar a fibra com maior fator de forma possível. Porém, à medida que este fator é maior, ocorre a perda de trabalhabilidade do concreto no seu estado fresco. Por esta razão, é necessário levar em conta este aspecto ao selecionar a fibra de aço para o reforço do concreto.

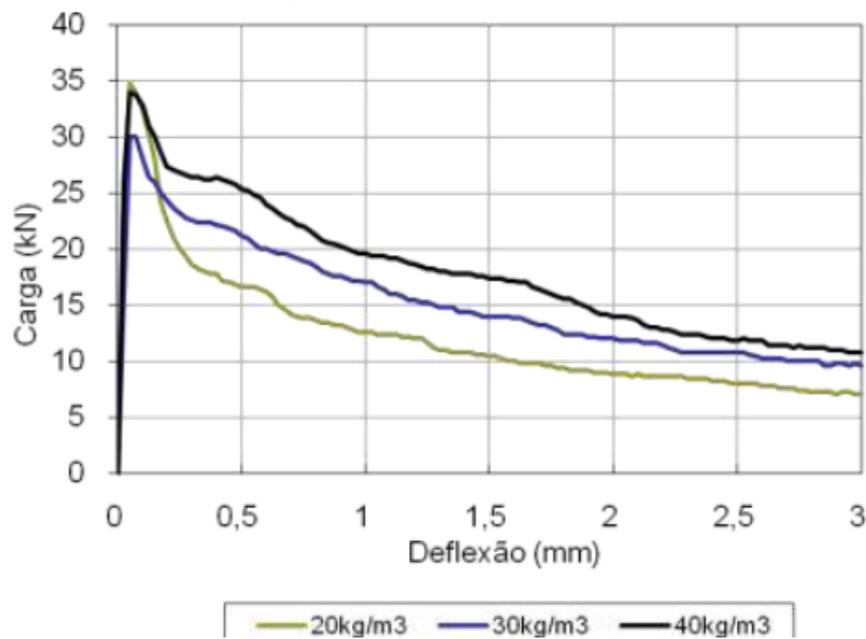
Figueiredo (2011a) demonstra que o desempenho após a fissuração do concreto depende muito da geometria da fibra. Ao aumentar o seu comprimento ou diminuir a seção transversal da mesma, o valor do fator de forma será maior. Com isso, observa-se um aumento da capacidade resistente após a fissuração do concreto, de acordo com o exemplo do Gráfico 06. Além disso, o teor de fibras também muda o desempenho do concreto. Ao aumentar o consumo destas fibras, a carga resistida pelo compósito após a fissuração é maior, conforme mostra o Gráfico 07.

Gráfico 06 – Influência do comprimento da fibra no desempenho pós-fissuração.



Fonte: FIGUEIREDO, 2011a.

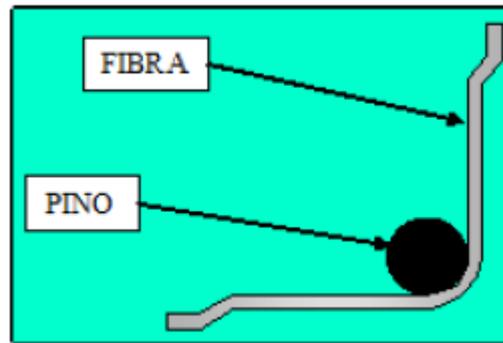
Gráfico 07 – Incremento da carga resistente pós-fissuração ao aumentar o teor de fibras.



Fonte: FIGUEIREDO, 2011a.

A NBR 15530 (ABNT, 2007) também exige que seja feito o ensaio de dobramento nas fibras, para garantir uma ductibilidade mínima e evitar a fragilização do compósito. Para isto, coleta-se uma amostra de 10 unidades de cada lote a ser analisado. O ensaio é feito manualmente, dobrando a fibra sobre um pino de 3,2 mm de diâmetro até formar um ângulo de 90°, conforme mostra a Figura 20.

Figura 20 – Esquema do ensaio de dobramento da fibra de acordo com a NBR 15530.



Fonte: FIGUEIREDO, 2011a.

2.4.2 Fibras poliméricas sintéticas (macrofibras)

O comportamento das macrofibras assemelha-se ao das fibras de aço, já que ela possui um módulo de elasticidade elevado, e ambas são normalmente utilizadas em estruturas de concreto com o objetivo de aumentar a resistência residual pós-fissuração do concreto, tornando-o mais dúctil (ANAPRE, 2011). A Figura 21 mostra dois tipos de macrofibras poliméricas disponíveis no Brasil.

Figura 21 – Exemplos de macrofibras poliméricas.



Fonte: FIGUEIREDO, 2011b.

As macrofibras poliméricas foram desenvolvidas com o intuito de se ter uma alternativa às fibras de aço. Entre as principais vantagens da utilização das macrofibras, pode-se citar a maior facilidade de homogeneização e distribuição durante a mistura e no acabamento superficial, maior flexibilidade, maior resistência química e durabilidade (BENTUR e MINDESS, 2007 *apud* CÁCERES, 2016).

De fato, Salvador (2013, p. 167) constata que “a macrofibra polimérica pode proporcionar o mesmo nível de desempenho que a fibra de aço, desde que os teores de desempenho equivalente de cada fibra sejam determinados em estudo de dosagem”.

Apesar de não existir normas brasileiras que regulamentem e especifiquem as fibras poliméricas sintéticas para a utilização em concreto, é possível utilizar normas estrangeiras, como a UNE-EN 14889-2, *Fibras para hormigón, Parte 2: Fibras poliméricas – Definiciones, especificaciones y conformidad* (AENOR, 2008).

A UNE-EN 14889-2 (AENOR, 2008) classifica as fibras poliméricas de acordo com sua forma física. Quando o diâmetro da fibra é maior que 0,30 mm de diâmetro, ela é classificada como macrofibra e de classe II. No que se refere ao comprimento da macrofibra, a norma não especifica valores mínimos e máximos. No Brasil, usualmente são encontradas macrofibras com 20 mm a 60 mm de comprimento, valores semelhantes às fibras de aço.

Cáceres (2016) propôs uma metodologia para a caracterização geométrica e mecânica das macrofibras poliméricas. A caracterização geométrica foi feita com base na UNE-EN 14889-2 (AENOR, 2008) e a caracterização mecânica se deu conforme metodologia elaborada pelo autor.

Na determinação do comprimento das fibras foram utilizados os métodos de medição com paquímetro e com imagens digitais, ambos considerados eficazes. Para medir o diâmetro equivalente utilizou-se três métodos: com paquímetro, imagens digitais e método da densidade, sendo que o método da densidade foi julgado mais eficiente (CÁCERES, 2016).

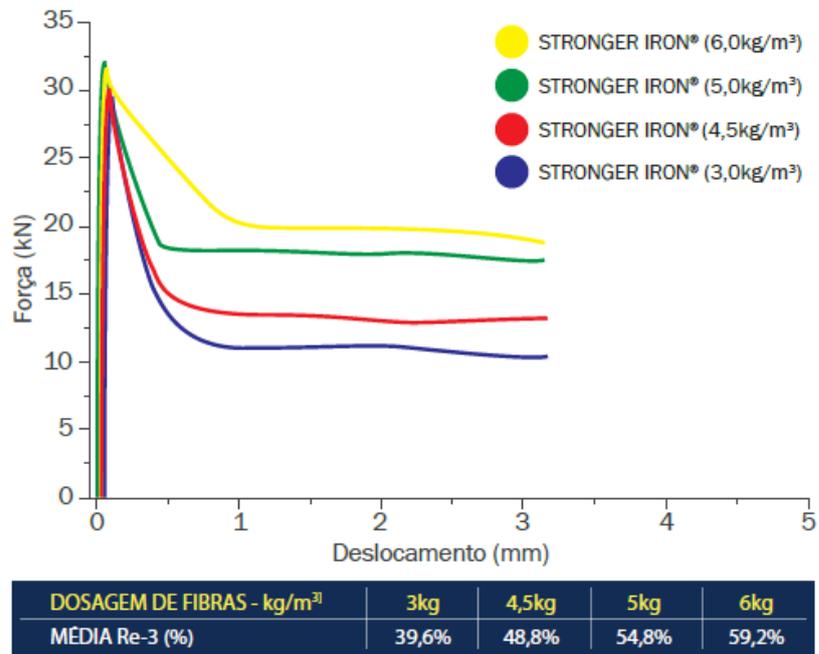
Em relação a caracterização mecânica, Cáceres (2016) utilizou as macrofibras em condições normais e misturadas ao concreto. Assim, efetuou ensaios de tração direta e avaliou também o efeito do contato abrasivo das macrofibras com os agregados durante a mistura do concreto. Com isso, conclui que o ensaio de tração direta oferece resultados confiáveis para a resistência à tração, porém o valor do módulo de elasticidade é subestimado. Ainda, comprovou que o atrito das fibras com o agregado durante a mistura reduz tanto a resistência mecânica quanto o módulo de elasticidade.

A incorporação das macrofibras poliméricas acarreta em uma melhora significativa em diversas propriedades mecânicas do concreto, principalmente sua tenacidade, resistência à fadiga e ao impacto. Atualmente o seu uso de mostra muito interessante para aplicações em pisos e pavimentos, concretos projetados e elementos pré-moldados. Além disso, este tipo de fibra pode proporcionar maior durabilidade em elementos expostos a ambientes agressivos, devido a sua maior resistência química (BENTUR e MINDESS, 2007 *apud* CÁCERES, 2016).

ANAPRE (2011) cita também alguns parâmetros de desempenho que devem ser atendidos pelas fibras. O fator de tenacidade deve ter um valor mínimo de 30% ($R_{e,3}$), conforme medição através das normas JSCE-SF4 (1984) ou ASTM C 1609 (2006), para suas dosagens comerciais (entre 2 kg e 6 kg por metro cúbico de concreto). Ainda, o fabricante necessita apresentar laudo que comprove que as fibras não tenham perda de massa e demonstrem desempenho ao serem inseridas em meios alcalinos, já que este tipo de fibra precisa ser álcali-resistente.

Ao aumentar o teor de macrofibra polimérica observa-se que a carga resistida pelo concreto pós-fissuração é maior, assim como acontece com a fibra de aço. Além disso, a tenacidade do compósito é aumentada também. O Gráfico 08 expressa esse ganho de resistência.

Gráfico 08 – Influência do teor de macrofibras na carga residual e na tenacidade do concreto.



Fonte: CONCREFIBER, 2016.

Atualmente, já existem no mercado da construção fibras misturadas que incluem tanto as macrofibras quanto as microfibras. Estas são utilizadas para o controle da fissuração do concreto fresco e para o reforço estrutural simultaneamente. A Figura 22 mostra uma fibra deste tipo.

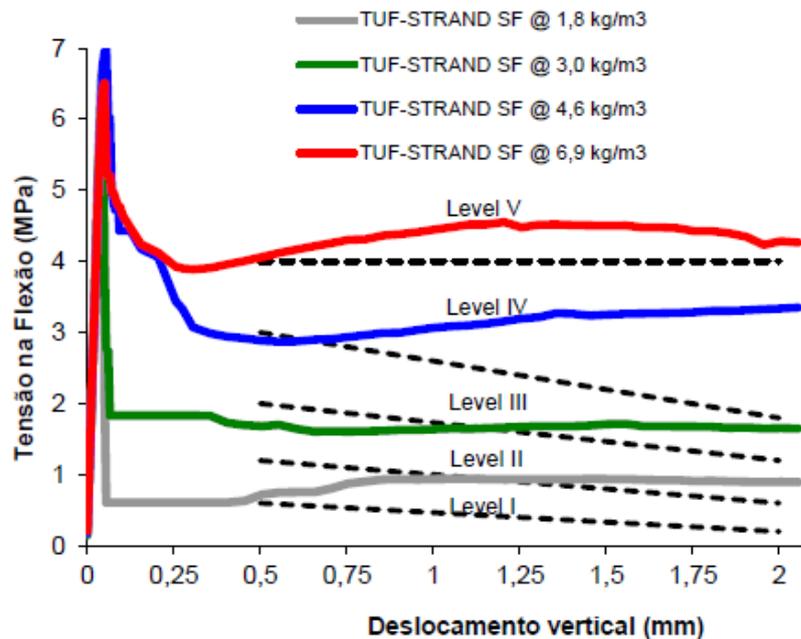
Figura 22 – Fibra composta de macrofibra e microfibras.



Fonte: FIGUEIREDO, 2011a.

Como exemplo, tem-se a fibra estrutural TUF-STRAND-SF, da VIAPOL (2018b). Ela é desenvolvida por uma mistura de polipropileno e polietileno e é recomendada para utilização em pisos e pavimentos, concreto projetado, *steel-decks*, capeamentos de compressão, estruturas pré-moldadas, entre outros. Seu desempenho também é alterado de acordo com as diferentes dosagens, conforme demonstra o Gráfico 09.

Gráfico 09 – Desempenho da TUF-STRAND-SF com diferentes dosagens.



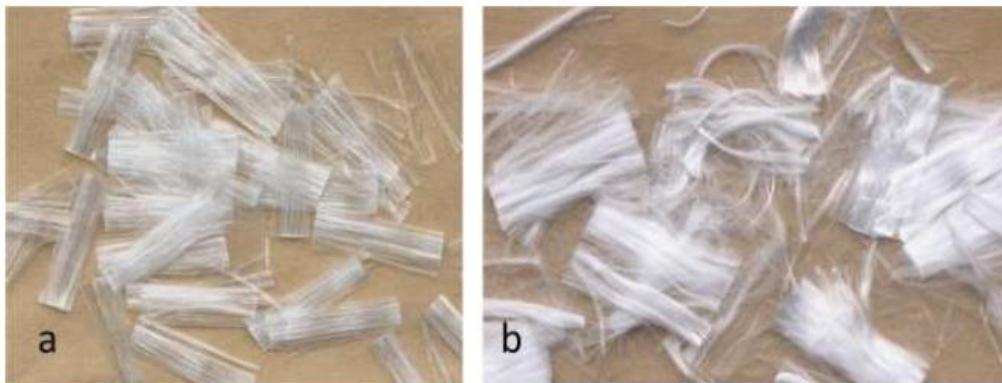
Fonte: VIAPOL, 2018b.

2.4.3 Microfibras

Diferentemente da fibra de aço e da macrofibra, a microfibra tem a função principal de controlar a propagação de fissuras no concreto ou da argamassa por retração plástica nas idades iniciais do compósito, já que esse tipo de fibra é caracterizado por um módulo de elasticidade baixo e resistência baixa. Figueiredo (2011b) ressalta que a eficiência das fibras de baixo módulo e resistência será maior quando o módulo de elasticidade e resistência do concreto é baixo, ou seja, quando este material está no estado fresco. No mercado da construção civil, destacam-se as fibras de náilon, polietileno, poliéster e polipropileno, sendo a última a mais utilizada.

De acordo com a norma UNE-EN 14889-2 (AENOR, 2008), as microfibras são classificadas como de Classe I por possuírem diâmetro menor que 0,30 mm. Ainda, elas são divididas em dois tipos: Classe Ia – Microfibras monofilamento e Classe Ib – Microfibras fibriladas. As fibriladas possuem uma malha de finos filamentos de seção retangular. Essa estrutura permite um aumento da adesão entre a fibra e a matriz, devido a um efeito de intertravamento (FIGUEIREDO, 2011b). As fibras monofilamento consistem em fios cortados em comprimento padrão. Na Figura 23 é possível identificar a diferença entre as duas.

Figura 23 – Fibras de polipropileno fibriladas (a) e monofilamento (b).



Fonte: FIGUEIREDO, 2011b.

Leite (2018) esclarece que o comprimento das microfibras varia entre 6 mm e 20 mm. Por sua vez, a norma UNE-EN 14889-2 (AENOR, 2008) não possui exigências quanto ao comprimento destas fibras.

Shah (1991) observa que a adição de baixos teores de fibras de polipropileno ao concreto contribui para evitar a propagação das microfissuras. Além disso, Jiang e Roy (1992) explicam que utilizando um teor alto (cerca de 2% em volume de concreto) destas fibras pode não só evitar a propagação, mas também desviar as microfissuras (*apud* LUCENA, 2017).

Uma desvantagem das fibras de polipropileno é que podem se degradar ao serem expostas aos raios ultravioletas, porém as mesmas são protegidas pela matriz cimentícia. Um estudo mostrou que a resistência destas fibras apresentou pouca alteração após serem expostas a diferentes ambientes ao longo de 18 anos. Por meio de experimentos, a vida sua vida útil foi estimada em mais de 30 anos (HANNANT, 2003 *apud* LEITE, 2018).

A capacidade de retenção de água do compósito é aumentada com a adição de fibras de polipropileno. Isto ocorre pelo fato de que as fibras tendem a impedir a saída de água, servindo como uma barreira. Mesmo que o polipropileno seja um material hidrofóbico (que não absorve água), sua adição impede a exsudação da água e proporciona melhores condições de hidratação da matriz (CENTOFANTE e DAGOSTINI, 2014).

Outro fator que altera as características do concreto ou argamassa é o teor de fibras utilizadas na mistura. Silva (2006b) explica que ao aumentar o teor, pode-se observar um aumento da capacidade resistente e da tenacidade da matriz. Porém, o uso de baixos teores de fibra de polipropileno não proporciona uma capacidade resistente do compósito, devido à baixa resistência e módulo da fibra. Apenas a tenacidade é aumentada.

Com a adição de fibras de polipropileno no teor de 1%, o compósito apresentou um aumento de 9,3% na resistência à tração e um incremento de 16,3% na tenacidade em relação ao concreto sem adição de fibras. No que se refere a resistência à compressão e o módulo de elasticidade, estes valores não manifestaram alteração significativa no compósito (JÚNIOR; SILVA e MORAVIA, 2017).

De maneira geral, os fabricantes brasileiros recomendam uma dosagem de 300 a 900 g/m³ de concreto ou argamassa, podendo chegar a 2,0 kg (VIAPOL, 2018b; BAUTECH, 2014; SIKA, 2017). Rodrigues e Montardo (2002) citam que até mesmo teores abaixo de 450g/m³ podem diminuir a fissuração. Com uma dosagem entre 450 g/m³ e 900 g/m³ a redução de fissuração já é muito acentuada e quando o teor é maior de 900 g/m³ praticamente não se tem fissuras.

As microfibras também podem ser utilizadas em estruturas onde a resistência ao fogo é importante. Em situações de incêndio, as mesmas se fundem, visto que o ponto de fusão do polipropileno é de cerca de 165 °C. Com isso, se formam canais por onde os vapores de água são liberados mais facilmente, dificultando a ocorrência do efeito *spalling*, que é o lascamento explosivo do concreto devido à tensão interna gerada no incêndio (LEITE, 2018; FIGUEIREDO, 2011b).

3. METODOLOGIA

O presente trabalho caracterizou-se pelo estudo experimental do desempenho de contrapisos reforçados com fibras, através da realização de ensaios em corpos de prova de contrapisos do tipo “farofa” e do tipo autonivelante, com um traço previamente estabelecido e com diferentes espessuras para avaliar o seu uso em sistemas de pisos flutuantes. Dessa maneira, a pesquisa é do tipo descritiva de natureza quantitativa.

Nessa etapa, primeiramente foi feita a caracterização dos materiais utilizados no contrapiso e dos tipos de fibras empregados para o reforço do compósito. A partir das características dos materiais, foram definidos o traço, o teor de fibras adicionadas e as espessuras do contrapiso a ser ensaiado, tendo base também em referências encontradas na literatura. Ainda, foram especificados os ensaios realizados nas amostras. Dessa maneira, foi possível proceder-se com a produção, moldagem e cura dos corpos de prova da pesquisa para os respectivos ensaios e assim, posteriormente foi feita a avaliação do desempenho dos contrapisos através da análise dos resultados obtidos nos ensaios.

3.1 Caracterização dos contrapisos e seus materiais

Para a análise, foram utilizados dois tipos de contrapiso, o primeiro do tipo “farofa” produzido no local, e o segundo do tipo autonivelante produzido pela empresa Conpasul – Construção e Serviços Ltda. Ambos são compostos por cimento, agregado miúdo e água, porém em diferentes dosagens.

Neste item, cada material necessário para produzir o contrapiso convencional, além dos materiais utilizados para o reforço do compósito (fibras poliméricas) foram caracterizados. Como o contrapiso autonivelante é industrializado, suas especificações foram dadas conforme o respectivo fabricante.

3.1.1 Cimento

O cimento utilizado para os ensaios foi do tipo CP IV 32 RS – Cimento Portland Pozolânico da marca CIMPOR. Ele tem baixo calor de hidratação e sua resistência é aumentada com o tempo.

Com o referido cimento, realizou-se o ensaio de resistência à compressão de acordo com a norma NBR 7215 (ABNT, 2019). Para isto, foram moldados 4 corpos de prova cilíndricos, com 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura, para cada idade. Visto que a norma NBR 16697 (ABNT, 2018) exige o ensaio para as idades de 3 dias, 7 dias e 28 dias, foram moldadas no total 12 amostras.

Os resultados obtidos foram comparados com os requisitos físicos e mecânicos exigidos pela NBR 16697 (ABNT, 2018) para fins de aceitação ou rejeição do material. Na Tabela 16 é possível observar os requisitos exigidos para aceitação.

Tabela 16 – Requisitos de resistência à compressão para CP IV classe 32.

Idade (dias)	Resistência à compressão (MPa)
3	≥ 10
7	≥ 20
28	≥ 32

Fonte: adaptado de NBR 16697, 2018.

3.1.2 Agregado miúdo

O agregado miúdo empregado no trabalho é constituído de areia natural e foi obtida em uma loja de materiais de construção localizada na cidade de Santa Cruz do Sul - RS. Para sua caracterização, foram feitos os ensaios de distribuição granulométrica e módulo de finura, de massa unitária e de inchamento.

3.1.2.1 Distribuição granulométrica e módulo de finura

O ensaio de distribuição granulométrica foi realizado com a finalidade de verificar se o material se encontra na zona ótima ou na zona utilizável conforme os limites estabelecidos pela norma NBR 7211 (ABNT, 2009). Estes valores são mostrados na Tabela 17.

Tabela 17 – Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo.

Abertura da malha das peneiras (mm)	Faixas em relação as % retidas acumuladas			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5	0	0	0	0
6,3	0	0	0	7
4,75	0	0	5	10
2,36	0	10	20	25
1,18	5	20	30	50
0,6	15	35	55	70
0,3	50	65	85	95
0,15	85	90	95	100
Fundo	100	100	100	100

Fonte: adaptado de NBR 7211, 2009.

A distribuição granulométrica do material foi determinada de acordo com o procedimento da norma NBR NM 248 (ABNT, 2003). Para o ensaio foram separadas duas amostras previamente secas em estufa e esfriadas à temperatura ambiente. Em seguida utilizou-se as peneiras da série normal encaixadas em ordem crescente da base para o topo. Cada amostra, separadamente, foi colocada na peneira superior e iniciou-se a agitação contínua durante 1 minuto. Ao final, o material retido em cada peneira foi separado e pesado.

Com os valores obtidos através do ensaio granulométrico é possível calcular também o módulo de finura (MF) através da Equação 1. A norma NBR 7211 (ABNT, 2009) possui limites para o MF conforme a Tabela 18.

$$MF = \frac{\sum \%Retida\ acumulada}{100} \quad (1)$$

Tabela 18 – Limites para o módulo de finura.

Módulo de finura	
Zona utilizável inferior	$1,55 \leq MF < 2,20$
Zona ótima	$2,20 \leq MF < 2,90$
Zona utilizável superior	$2,90 \leq MF < 3,50$

Fonte: adaptado de NBR 7211, 2009.

3.1.2.2 Massa unitária

O ensaio de massa unitária foi realizado seguindo as premissas da norma NBR NM 45 (ABNT, 2006). O método consistiu em encher um recipiente com areia e então nivelar a camada superficial com o auxílio de uma régua, de forma a rasá-la com a borda superior do recipiente. O recipiente utilizado foi uma caixa metálica retangular com volume medido de 0,0201292 m³. A massa unitária foi obtida fazendo-se a relação entre a massa do agregado e o volume do recipiente.

O procedimento foi feito duas vezes, sendo que o valor da massa unitária é igual a média dos resultados individuais obtidos.

3.1.2.3 Inchamento

O ensaio de inchamento foi feito de acordo com a norma NBR 6467 (ABNT, 2006) e consiste em determinar a massa unitária do agregado miúdo no estado seco e em seguida é necessário adicionar água de modo a obter teores de umidade previamente estabelecidos, realizando a homogeneização da amostra. Logo após, deve-se determinar a massa unitária novamente, a cada adição de água.

Assim, para cada teor de umidade é necessário calcular o coeficiente de inchamento de acordo com a Equação 2.

$$\frac{V_h}{V_s} = \frac{\gamma_s}{\gamma_h} \times \left(\frac{100+h}{100} \right) \quad (2)$$

Onde:

V_h é o volume do agregado com um determinado teor de umidade (h), em m³;

V_s é o volume do agregado seco, em m³;

V_h / V_s é o coeficiente de inchamento do agregado;

γ_h é a massa unitária do agregado com um determinado teor de umidade (h), em Kg/m³;

γ_s é a massa unitária do agregado seco, em Kg/m³.

3.1.3 Água

A água utilizada para a produção do contrapiso é proveniente da rede de abastecimento da Universidade de Santa Cruz do Sul.

3.1.4 Fibras poliméricas

Neste trabalho adotou-se dois tipos de fibras poliméricas para o reforço dos contrapisos, ambas definidas como macrofibras. Suas propriedades foram definidas de acordo com o fabricante do material, sendo que ambas são da empresa VIAPOL.

3.1.4.1 Fibra 1

A primeira fibra é a TUF-STRAND-SF (Figura 24). De acordo com a VIAPOL (2018b), essa fibra é caracterizada como estrutural, sendo composta por uma mistura de polipropileno e polietileno. Ela pode ser utilizada para uma variedade de aplicações para substituir a tela de aço e as fibras de aço e foi desenvolvida para proporcionar maior ancoragem na matriz, aumentando sua resistência pós-fissuração, resistência ao impacto, à fadiga e controle das fissuras devidas à retração do compósito. As principais características técnicas do produto são demonstradas na Tabela 19.

Figura 24 – Fibra TUF-STRAND-SF.



Fonte: autor.

Tabela 19 – Características técnicas da fibra TUF-STRAND-SF.

Características	Medida	Método de Ensaio
Composição	Mistura de Polietileno/Polipropileno	
Densidade	0,92 kg/m ³	-
Comprimento da Fibra	40mm e 51 mm	
Fator de Forma	58 / 74	
Resistência à Tração	600 – 650 MPa	
Módulo de Elasticidade	9,5 GPa	EN 14889.2
Ponto de fusão	160 °C	ASTM D1929
Condutividade Térmica e Elétrica	Baixa	
Absorção de água	Desprezível	
Resistência aos álcalis e ácidos	Excelente	
Cor	Branca	
Dosagem Típica	1,8 a 12 kg / m ² .	

Fonte: VIAPOL, 2018b.

3.1.4.2 Fibra 2

A outra fibra utilizada neste trabalho foi a TUF-STRAND Maxten (Figura 25). Ela é uma macrofibra sintética estrutural feita de copolímeros 100% virgens. Essa fibra também é utilizada como alternativa para substituir as fibras de aço e as telas soldadas em aplicações para reforço. Seu uso tem a finalidade de reduzir fissuras de retração plástica e melhorar a resistência ao impacto, à abrasão e à fadiga (VIAPOL, 2018a). As características dessa fibra podem ser observadas na Tabela 20.

Figura 25 – Fibra TUF-STRAND Maxten.



Fonte: autor.

Tabela 20 – Características técnicas da fibra TUF-STRAND Maxten.

Características	Medida
Composição	Copolímero 100% puro
Densidade	0,91 kg/m ³
Comprimentos disponíveis	40 mm e 51 mm
Fator de Forma	79 / 102
Resistência à Tração	620 – 685 MPa
Ponto de Fusão	160 oC
Condutividade Térmica e Elétrica	Baixa
Absorção de água	Desprezível
Resistência aos álcalis e ácidos	Excelente
Cor	Cinza

Fonte: VIAPOL, 2018a.

3.2 Contrapiso autonivelante

O contrapiso autonivelante fornecido pela empresa Conpasul é fundamentado em tecnologia Italiana e possui como características ser autoadensável, bombeável e de fácil aplicação. O material possui fibras poliméricas incorporadas de dois diferentes tipos: microfibras e macrofibras. Não foi possível obter a especificação dos materiais, das fibras e dos aditivos utilizados neste contrapiso, visto que a tecnologia é patenteada. Entretanto, observou-se que a macrofibra é composta por diferentes materiais poliméricos reciclados e apresentam um comprimento pequeno (Figura 26).

Figura 26 – Macrofibra incorporada ao contrapiso autonivelante.



Fonte: autor.

3.3 Determinação do traço e das espessuras do contrapiso

Definidos os materiais para a produção do contrapiso, foi possível proceder-se com a determinação do traço, das espessuras e o teor de fibras do mesmo para conduzir o ensaio. Para o contrapiso tipo “farofa”, primeiramente foi feita uma pesquisa através de trabalhos, livros e artigos para encontrar os traços e espessuras mais usuais utilizadas nesta camada.

Nesse contexto, Fiorito (2009) através de uma pesquisa em obras constatou que, em geral, o traço das argamassas é muito variável. O problema é quando se tem argamassas muito ricas e espessas. Neste caso, tem-se uma maior rigidez do material, gerando tensões exageradas devido a maior retração.

Rubin (2015) salienta que na cidade de Porto Alegre (RS) os traços mais utilizados para a produção do contrapiso convencional variam entre um traço rico, com maior resistência (1:3) e um traço mais pobre, de menor resistência (1:6). O mais usual ainda assim são os traços 1:3 e 1:4. AUBICON (2015) orienta também a utilizar o traço 1:3 ou 1:4 para contrapisos sobre camadas isolantes acústicas.

Logo, é possível verificar que o traço de contrapisos “farofa” variam entre 1:3 e 1:4 em volume de cimento e areia média úmida e sua consistência deve ser seca.

No trabalho a dosagem foi feita com os materiais secos, para facilitar o peneiramento do agregado miúdo. Visto que a areia utilizada em obra é proporcionada em estado úmido, foi necessário transformar o traço de acordo com o coeficiente de inchamento do agregado úmido.

Optou-se por utilizar um traço de 1:3 em volume de cimento e areia média seca. Assim, convertido em areia úmida o traço fica 1:3,81 em volume.

Para os contrapisos autonivelantes, é usual que o fabricante tenha um traço pré-definido. Para o trabalho, foi utilizado o contrapiso autonivelante com fibras incorporadas produzido pela empresa Conpasul – Construção e Serviços Ltda. O compósito foi entregue pronto, restando apenas o procedimento de moldagem dos corpos de prova no laboratório.

Em relação à espessura da camada do contrapiso, TECHNÉ (2010) define que esta varia em função da compressibilidade da camada flutuante e de acordo com as especificidades do projeto. Porém, é indicado espessuras entre 4 cm e 7 cm. AUBICON (2015) recomenda diferentes tipos de reforço para contrapiso sobre mantas acústicas, em função principalmente da espessura da camada, sendo que esta varia de 4 cm até 8 cm.

Para o trabalho, foram definidas as espessuras presentes na Tabela 21 para a moldagem dos corpos de prova em placas. Mesmo que na literatura não foram encontradas espessuras menores que 4 cm, escolheu-se ensaiar amostras com 2 cm e 3 cm para verificar o comportamento frente aos esforços mecânicos e analisar se sua utilização seria possível em contrapisos flutuantes.

Na amostra de contrapiso reforçado com fibras poliméricas, definiu-se ainda o teor de fibras adicionadas ao compósito. Porém, notou-se uma dificuldade nesta etapa visto que não foram encontradas referências de trabalhos relacionados a este assunto. Por isso, buscou-se em especificações e recomendações de fabricantes e associações alguma proporção indicada de fibras.

Nesse contexto, a ANAPRE (2011) recomenda para pisos industriais a adição de uma quantidade compreendida entre 2 kg/m³ a 6 kg/m³ de fibras, sendo esta considerada uma dosagem comercial usualmente utilizada no mercado. A empresa VIAPOL (2018b) sugere na ficha técnica da fibra TUF-STRAND-SF a dosagem de 1,8 kg/m³ a 12 kg/m³. Por outro lado, na ficha da fibra TUF-STRAND Maxten (VIAPOL, 2018a) a dosagem recomendada é de 1,8 kg/m³ a 6,0 kg/m³ (VIAPOL, 2018a).

Para atingir a consistência esperada, foi necessário adicionar água até que o material ganhasse trabalhabilidade e, ao ser pressionado, criasse uma película de água em sua superfície. Assim, a relação água/cimento foi obtida no momento da mistura dos materiais e resultou no valor de 0,68. Desse modo, na Tabela 21 são demonstrados o traço, a relação água/cimento, o teor de fibras e as espessuras utilizados no trabalho.

Tabela 21 – Características do contrapiso a ser ensaiado.

Tipo de contrapiso	Consistência	Traço (Cimento:areia média seca)	Traço (Cimento:areia média úmida)	Relação A/C	Teor de fibras	Espessuras (cm)
Farofa	Seca	1:3	1:3,81	0,68	2 kg/m ³	2 / 3 / 4 / 5 / 6
Autonivelante	Fluída	Definido pelo fabricante				

Fonte: autor.

3.4 Ensaios realizados para avaliação das amostras

Para a avaliação e caracterização do contrapiso, foram realizados cinco ensaios mecânicos nos corpos de prova: ensaio de resistência à compressão simples, ensaio de resistência à tração por compressão diametral, ensaio de resistência à tração na flexão e à compressão em prismas e ensaio de flexão em placas.

3.4.1 Resistência à compressão

Como não existem normas específicas para contrapisos, neste trabalho decidiu-se realizar o ensaio de resistência à compressão de acordo com a norma NBR 5739 (ABNT, 2018), que trata sobre o ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos de concreto.

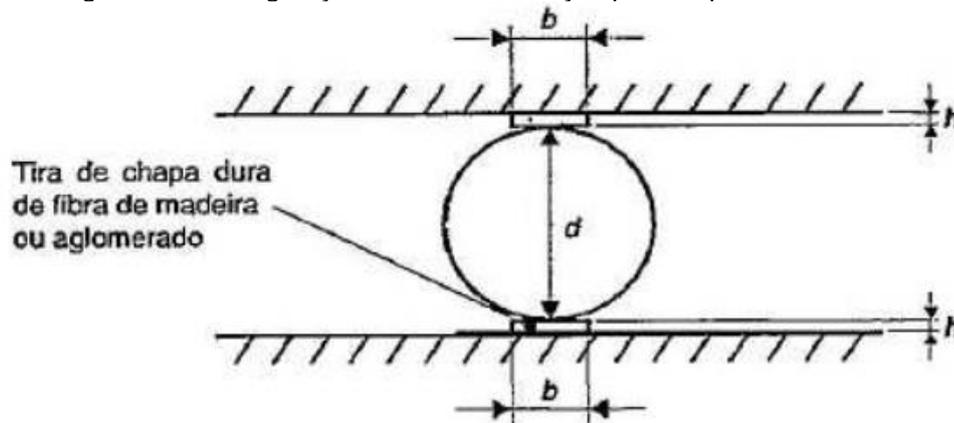
Foram moldados 3 corpos de prova cilíndricos com diâmetro de 10 cm e altura de 20 cm para cada tipo de contrapiso. O ensaio de resistência à compressão foi feito apenas para a idade de 28 dias.

3.4.2 Resistência à tração por compressão diametral

O ensaio de resistência à tração por compressão diametral foi feito conforme a norma NBR 7222: Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos (ABNT, 2011).

As dimensões dos corpos de prova para este ensaio são iguais às dimensões dos exemplares do ensaio de compressão, ou seja, 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura. Foram moldados 3 corpos de prova e o ensaio foi feito na idade de 28 dias para cada tipo de contrapiso, dispondo a amostra conforme a Figura 27.

Figura 27 – Configuração do ensaio de tração por compressão diametral.



Fonte: ABNT NBR 7222, 2011.

Segundo a norma NBR 7222 (ABNT, 2011) a resistência à tração por compressão diametral é calculada pela Equação 3.

$$f_{ct,sp} = \frac{2F}{\pi dl} \quad (3)$$

Onde:

$f_{ct,sp}$ é a resistência à tração por compressão diametral, em MPa;

F é a força máxima obtida no ensaio, em N;

d é o diâmetro do corpo de prova, em mm;

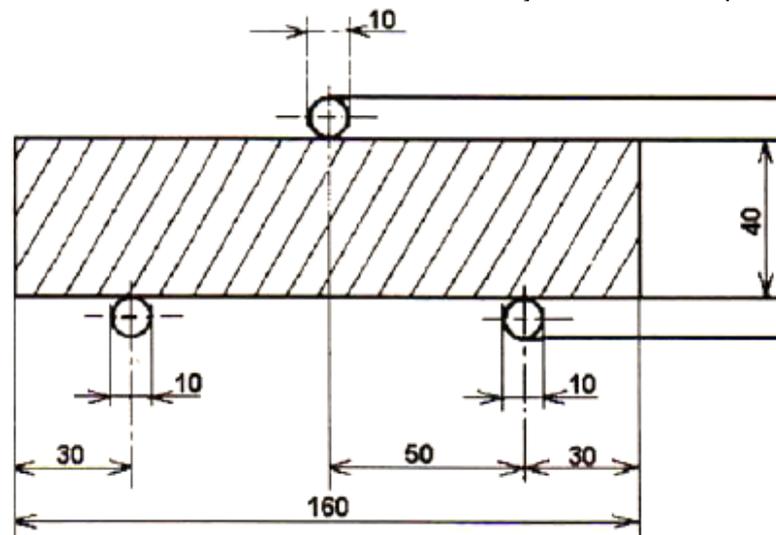
l é o comprimento do corpo de prova, em mm.

3.4.3 Resistência à tração na flexão e à compressão em prismas

Para o ensaio de flexão em prismas foi utilizada a norma NBR 13279 (ABNT, 2005) como base, que se refere à determinação da resistência à tração na flexão e à compressão de argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos. A norma especifica as dimensões do corpo de prova em 4 cm de largura, 4 cm de altura e 16 cm de comprimento (Figura 28). Para cada tipo de contrapiso foram moldadas 3 amostras de prismas para executar o ensaio.

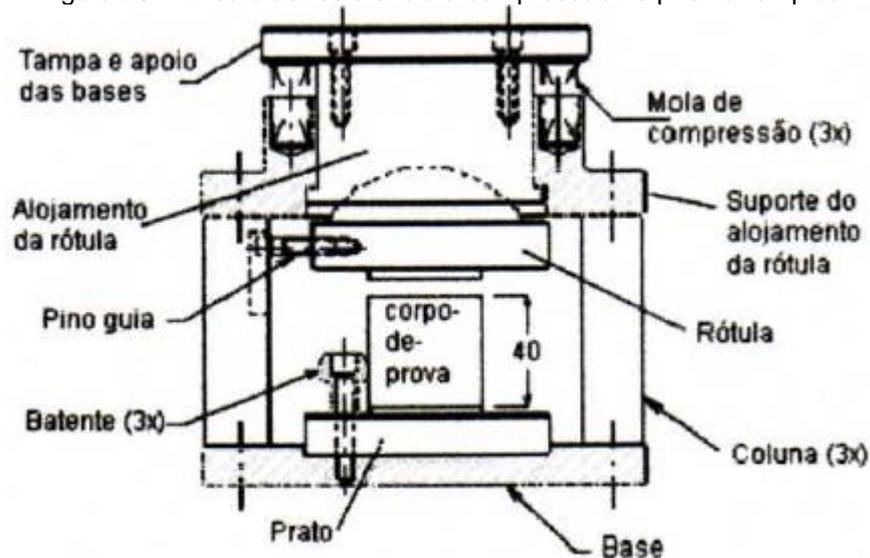
Esse ensaio possibilita a análise do comportamento à tração na flexão, e após a ruptura do corpo de prova, pode-se utilizar as metades do mesmo para realizar o ensaio de compressão (Figura 29).

Figura 28 – Vista do ensaio de resistência à tração na flexão de prismas.



Fonte: ABNT NBR 13279, 2005.

Figura 29 – Ensaio de resistência à compressão no prisma rompido.



Fonte: ABNT NBR 13279, 2005.

De acordo com a norma NBR 13279 (ABNT, 2005), a resistência à tração na flexão é calculada pela Equação 4 e a resistência à compressão axial conforme a Equação 5.

$$R_f = \frac{1,5 F_f L}{40^3} \quad (4)$$

Onde:

R_f é a resistência à tração na flexão, em MPa;

F_f é a carga aplicada verticalmente no centro do prisma, em N;
 L é a distância entre os suportes, em mm.

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (5)$$

Onde:

R_c é a resistência à compressão, em MPa;

F_c é a carga máxima aplicada, em N.

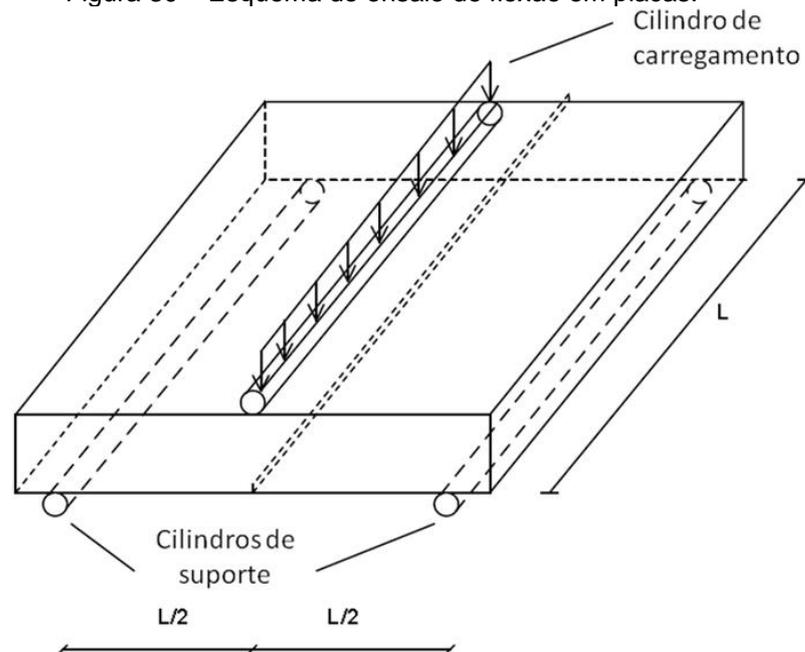
3.4.4 Flexão em placas

O ensaio de flexão em placas de contrapiso tem a finalidade de avaliar o seu comportamento à tração, de forma a obter um resultado mais real, já que esta solicitação é a que normalmente ocorre nos contrapisos flutuantes.

Não há normatização brasileira a respeito do ensaio de flexão em placas. Por isso, foi adotada como referência a recomendação europeia *EFNARC Three point bending test on square panel with notch*, elaborada pela organização *Experts for Specialised Construction and Concrete Systems (EFNARC, 2011)*. Nesta recomendação, é testada a resistência à flexão em amostras de concreto com fibras. Os corpos de prova possuem a geometria de uma placa quadrada com 60 cm de lado e 10 cm de espessura e uma carga linear é aplicada no centro do vão de um dos lados da placa através de um cilindro, conforme a Figura 30.

Para os contrapisos analisados, as amostras foram adaptadas para as espessuras indicadas na Tabela 21, sendo que para cada espessura foram moldados 2 corpos de prova. A dimensão da placa também foi modificada, com o objetivo de facilitar a execução do ensaio e a concepção do gabarito de fôrmas para a moldagem dos corpos de prova. Por esse motivo, as placas têm 30 cm de lado, mantendo sua geometria quadrada. A resistência à flexão é dada pela Equação 6.

Figura 30 – Esquema do ensaio de flexão em placas.



Fonte: EFNARC, 2011.

$$\sigma_r = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (6)$$

Onde:

σ_r é a resistência à flexão, em MPa;

P é a força máxima aplicada no centro do corpo de prova, em N;

L é a distância entre os cilindros de suporte, em mm;

b é a largura do corpo de prova, em mm;

h é a espessura do corpo de prova, em mm.

3.5 Produção e moldagem dos corpos de prova

Definidos os ensaios a serem realizados para a avaliação dos contrapisos com diferentes tipos de reforço, prosseguiu-se com a produção e moldagem dos corpos de prova.

A etapa de produção do contrapiso “farofa” foi feita misturando-se todos os materiais secos dentro da betoneira. Em seguida, adicionou-se a quantidade de água conforme a relação água/cimento estabelecida. Como a consistência da argamassa é seca, não foi feito o ensaio de abatimento do compósito.

O procedimento de moldagem foi realizado seguindo a norma NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova (ABNT, 2015). Nesta etapa, foram moldados os corpos de prova para os ensaios citados no item 3.3 deste trabalho, com suas respectivas dimensões especificadas.

Desta forma, foram elaboradas uma amostra sem reforço, uma para cada tipo de fibra especificada e outra produzida com o contrapiso autonivelante com fibras incorporadas. Nesse sentido, são demonstrados na Tabela 22 o número de corpos de prova necessários para o ensaio de resistência a compressão e tração por compressão diametral. Na Tabela 23 é apresentado o número de amostras para o ensaio resistência à tração na flexão e à compressão em prismas.

Para o ensaio de flexão em placas, a altura dos CPs varia conforme a espessura a ser analisada. Portanto, na Tabela 24 é mostrado o número de amostras para o referido ensaio.

Tabela 22 – Número de CPs cilíndricos.

Ensaio		Resistência à compressão (NBR 5739)	Resistência à tração por compressão diametral (NBR 7222)	Total
Tipo de Contrapiso	Tipo de reforço	N° CPs cilíndricos (D x h)	N° CPs cilíndricos (D x h)	
Farofa	Sem reforço (A)	3 x (10x20)	3 x (10x20)	6
	Fibra 1 (B)	3 x (10x20)	3 x (10x20)	6
	Fibra 2 (C)	3 x (10x20)	3 x (10x20)	6
Autonivelante	Fibras incorp. (D)	3 x (10x20)	3 x (10x20)	6
Total geral				24

Fonte: Autor.

Tabela 23 – Número de CPs prismáticos.

Ensaio		Flexão em prismas (NBR 13279)	Total
Tipo de Contrapiso	Tipo de reforço	N° CPs prismáticos (l x h x c)	
Farofa	Sem reforço (A)	3 x (4x4x16)	3
	Fibra 1 (B)	3 x (4x4x16)	3
	Fibra 2 (C)	3 x (4x4x16)	3
Autonivelante	Fibras incorp. (D)	3 x (4x4x16)	3
			12

Fonte: Autor.

Tabela 24 – Número de CPs em placas.

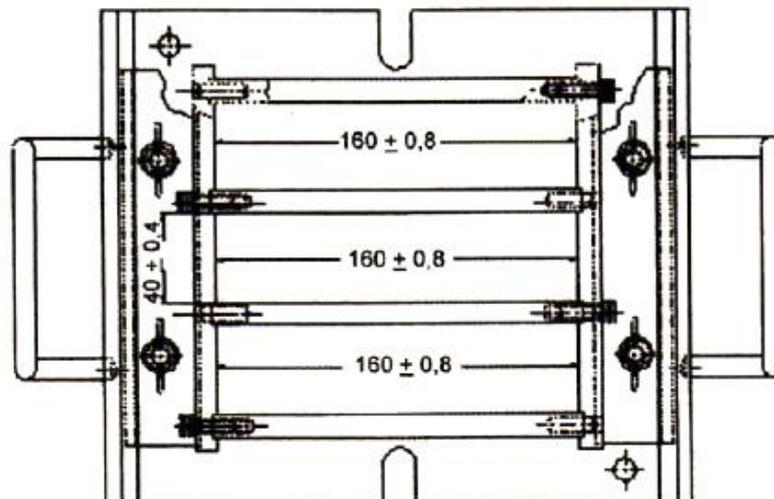
Ensaio		Flexão em placas (EFNARC)				Total
Tipo de Contrapiso	Espessura (cm)	N° CPs em placas p/ cada reforço (h x 30 x 30) cm				
		Sem ref. (A)	Fibra 1 (B)	Fibra 2 (C)	Fibras incorp. (D)	
Farofa	2	2 x (2x30x30)	2 x (2x30x30)	2 x (2x30x30)	-	6
	3	2 x (3x30x30)	2 x (3x30x30)	2 x (3x30x30)	-	6
	4	2 x (4x30x30)	2 x (4x30x30)	2 x (4x30x30)	-	6
	5	2 x (5x30x30)	2 x (5x30x30)	2 x (5x30x30)	-	6
	6	2 x (6x30x30)	2 x (6x30x30)	2 x (6x30x30)	-	6
Autonivelante	2	-	-	-	2 x (2x30x30)	2
	3	-	-	-	2 x (3x30x30)	2
	4	-	-	-	2 x (4x30x30)	2
	5	-	-	-	2 x (5x30x30)	2
	6	-	-	-	2 x (6x30x30)	2
Total geral						40

Fonte: Autor.

Na moldagem dos corpos de prova cilíndricos foi utilizado o molde com as laterais e a base de aço conforme a NBR 5738 (ABNT, 2015), que é aberto em seu extremo superior e permite fácil desmoldagem, sem danificar os CPs.

Para os corpos de prova prismáticos, foi empregado o dispositivo de moldagem da norma NBR 13279 (ABNT, 2005). O molde é composto por três compartimentos, possibilitando o preparo de três CPs simultâneos com as dimensões padronizadas de 4 cm x 4 cm de seção transversal e 16 cm de comprimento, com tolerância de 0,4 mm para as medidas da seção transversal e 0,8 mm para o comprimento. O equipamento é exibido na Figura 31.

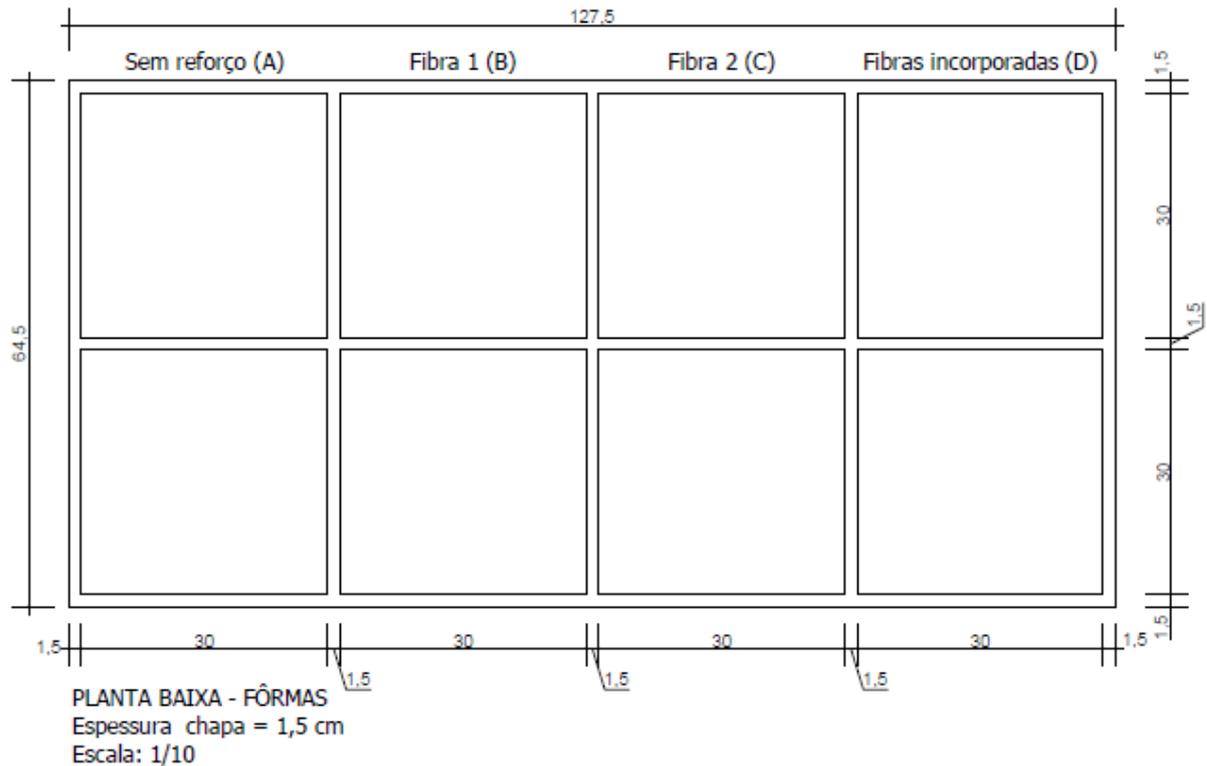
Figura 31 – Dispositivo para moldagem dos CPs prismáticos.



Fonte: ABNT NBR 13279, 2005.

Em relação aos exemplares em placas, foi desenvolvido um gabarito de fôrmas de madeira para facilitar a moldagem deles, já que suas dimensões só variam na altura. Para cada espessura foi realizado um gabarito conforme as dimensões demonstradas na Figura 32.

Figura 32 – Gabarito para moldagem dos CPs em placas.



Fonte: Autor.

Antes de iniciar o procedimento de moldagem, foi aplicada uma camada de óleo mineral no interior de todos os moldes e fôrmas para facilitar a desmoldagem após o período de cura inicial.

Visto que o contrapiso convencional possui consistência seca, seu adensamento apenas com a haste não foi possível. Como alternativa foi adotado o soquete Marshall com 100 mm de diâmetro para compactar os corpos de prova cilíndricos, sendo que foi estabelecida a compactação em 4 camadas de 12 golpes cada. Este soquete cobre toda a área do corpo de prova, compactando-o de forma uniforme.

O soquete Marshall também foi utilizado para compactar as amostras em placas. Para os corpos de prova prismáticos, foi empregado o soquete especificado pela norma NBR 7215 (ABNT, 2019) para a compactação.

Após a moldagem das amostras, optou-se por esperar 7 dias para desmoldá-las com a finalidade de evitar quebras. Posteriormente os corpos de prova foram identificados e armazenados até o momento do ensaio.

3.6 Análise dos resultados

Após a moldagem e cura, aos 28 dias de idade os corpos de prova foram submetidos aos ensaios especificados no item 3.3. Finalmente, foi possível proceder com a análise dos resultados destes ensaios para avaliar o desempenho das amostras de contrapiso.

Dessa forma, foram analisadas as resistências de compressão, de tração por compressão diametral e tração na flexão. Como referência de desempenho adequado foram estabelecidos os requisitos presentes na Tabela 25, valores estes que são recomendados pela AUBICON (2015).

Tabela 25 – Requisitos para as amostras de contrapiso.

Ensaio	Requisito
Resistência à compressão (fck)	$\geq 10,0$ MPa
Resistência à tração por compressão diametral	$\geq 1,0$ MPa
Resistência à tração na flexão	$\geq 1,0$ MPa

Fonte: adaptado de AUBICON, 2015.

4. RESULTADOS

4.1 Ensaios de caracterização dos materiais

4.1.1 Cimento

Os resultados referentes ao ensaio de resistência à compressão do cimento podem ser observados na Tabela 26.

Tabela 26 – Resultados do ensaio de resistência à compressão do cimento.

Idade (dias)	Exemplar	Resistência à compressão (MPa)	
		Individual	Média
3	1	15,70	15,98
	2	16,12	
	3	15,84	
	4	16,27	
7	5	28,22	28,47
	6	28,48	
	7	28,73	
	8	28,45	
28	9	34,39	34,60
	10	34,90	
	11	34,52	
	12	34,60	

Fonte: autor.

Analisando os resultados, conclui-se que o cimento utilizado neste trabalho atende aos requisitos de resistência à compressão exigidos pela NBR 16697 (ABNT, 2018) em todas as idades.

4.1.2 Agregado miúdo

4.1.2.1 Distribuição granulométrica e módulo de finura

A Tabela 27 demonstra os resultados do referido ensaio e no Gráfico 10 pode-se observar a distribuição do material nas respectivas zonas indicadas.

Tabela 27 – Distribuição granulométrica do material.

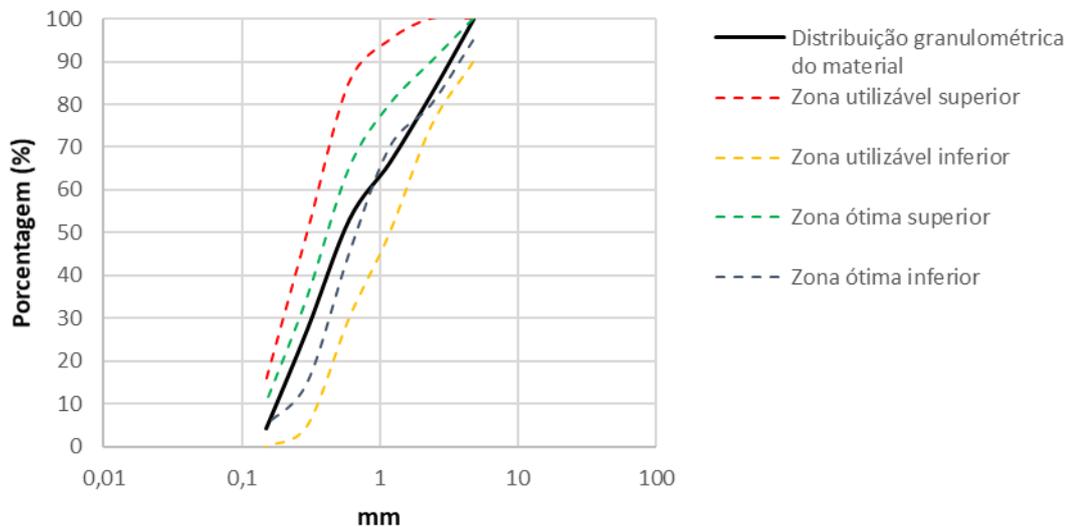
Peneira (mm)	Amostra 1				Amostra 2				Médias	
	Peso retido (g)	Peso retido acumulado (g)	% retida	% retida acumulada	Peso retido (g)	Peso retido acumulado (g)	% retida	% retida acumulada	% retida média	% média acumulada
4,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,36	87,2	87,2	17,16	17,16	90,4	90,4	17,71	17,71	17,43	17,43
1,18	83,6	170,8	16,45	33,60	80,2	170,6	15,71	33,42	16,08	33,51
0,6	67,4	238,2	13,26	46,86	68,8	239,4	13,48	46,90	13,37	46,88
0,3	127,2	365,4	25,02	71,89	132,9	372,3	26,03	72,93	25,53	72,41
0,15	121,2	486,6	23,84	95,73	118,1	490,4	23,13	96,06	23,49	95,90
fundo	19,4	506	3,82	99,55	18,3	508,7	3,58	99,65	3,70	99,60

Massa da amostra 1 (m1): 508,3 g

Massa da amostra 2 (m2): 510,5 g

Fonte: autor.

Gráfico 10 – Distribuição granulométrica do material



Fonte: autor.

Portanto, pode-se concluir que a curva granulométrica do material utilizado se encontra dentro dos limites da Tabela 17, estando em conformidade com a norma NBR 7211 (ABNT, 2009).

Em relação ao módulo de finura, este foi calculado de acordo com a Equação 1. O valor obtido para o MF foi de 2,66 e localiza-se na zona ótima.

4.1.2.2 Massa unitária

O valor da massa unitária adquirida através do procedimento de ensaio estabelecido pela norma NBR NM 45 (ABNT, 2006) é mostrado na Tabela 28.

Tabela 28 – Resultados do ensaio de massa unitária.

	Massa (Kg)	Massa unitária (Kg/m ³)
1	32,76	1627,49
2	33,38	1658,29
Média	33,07	1642,89

Fonte: autor.

4.1.2.3 Inchamento

Para este ensaio, não foi possível secar todo material em estufa em função da elevada quantidade de areia necessária. Dessa maneira adotou-se como massa unitária seca o valor obtido com a areia seca ao ar. Assim, os resultados do inchamento da areia calculados conforme a Equação 2 são demonstrados na Tabela 29.

Tabela 29 – Resultados do ensaio de inchamento.

Amostra	Massa (Kg)	γ_{unit} (Kg/m ³)	Umidade (h)	Coefficiente de inchamento (Vh / Vs)
1	33,07	1642,89	0,5695	1,00
2	31,96	1587,74	0,62	1,04
3	27,84	1383,07	1,50	1,21
4	26,86	1334,38	3,48	1,27
5	27,60	1371,14	6,42	1,28
6	30,04	1492,36	11,60	1,23
Umidade crítica = 2,73%				
Coefficiente de inchamento médio = 1,27				

Fonte: autor.

4.2 Ensaio de resistência mecânica das amostras de contrapiso

Nesta seção, os resultados referentes aos ensaios propostos no item 3.3 são demonstrados. Os resultados foram avaliados conforme os requisitos da Tabela 25 e foi realizada uma comparação entre os resultados de cada ensaio para verificar o efeito da adição de fibras no aumento ou diminuição da resistência.

4.2.1 Resistência à compressão

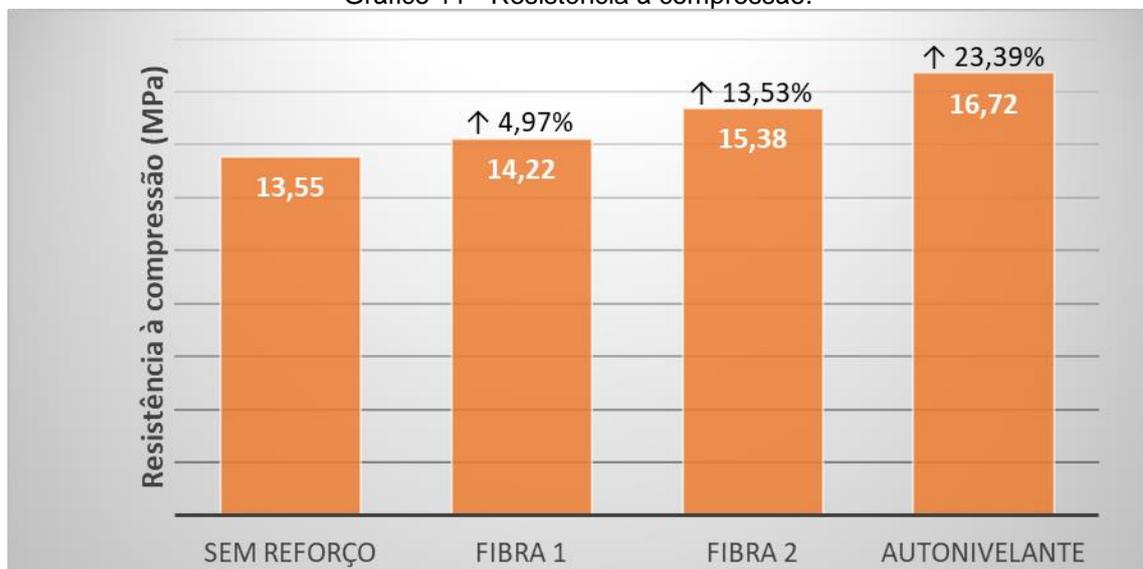
Os resultados do ensaio de resistência à compressão são apresentados na Tabela 30 e no Gráfico 11.

Tabela 30 – Resultados de resistência à compressão.

Exemplar		Resistência à compressão (MPa)	Média (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coefficiente Variação (%)	Acréscimo de resistência (%)
A (sem reforço)	1	13,57	13,55	0,072	0,53	-
	2	13,47				
	3	13,61				
B (Fibra 1)	1	14,23	14,22	0,830	5,84	4,97
	2	15,05				
	3	13,39				
C (Fibra 2)	1	15,36	15,38	0,021	0,14	13,53
	2	15,39				
	3	15,40				
D (Autonivelante)	1	17,31	16,72	0,996	5,96	23,39
	2	17,28				
	3	15,57				

Fonte: autor.

Gráfico 11 - Resistência à compressão.



Fonte: autor.

Analisando, pode-se observar que todas as amostras atenderam de forma satisfatória o requisito de 10 MPa de resistência à compressão estabelecido pela AUBICON (2015). A adição de fibras objetivou o aumento de resistência à tração e à flexão, mesmo assim houve um acréscimo de resistência de 4,97% e 13,53% através da adição das fibras 1 e 2, respectivamente. O contrapiso autonivelante apresentou melhores resultados, com resistência 23,39% maior que a amostra sem reforço, 17,55% maior que a fibra 1 e 8,69% maior que a fibra 2.

4.2.2 Resistência à tração por compressão diametral

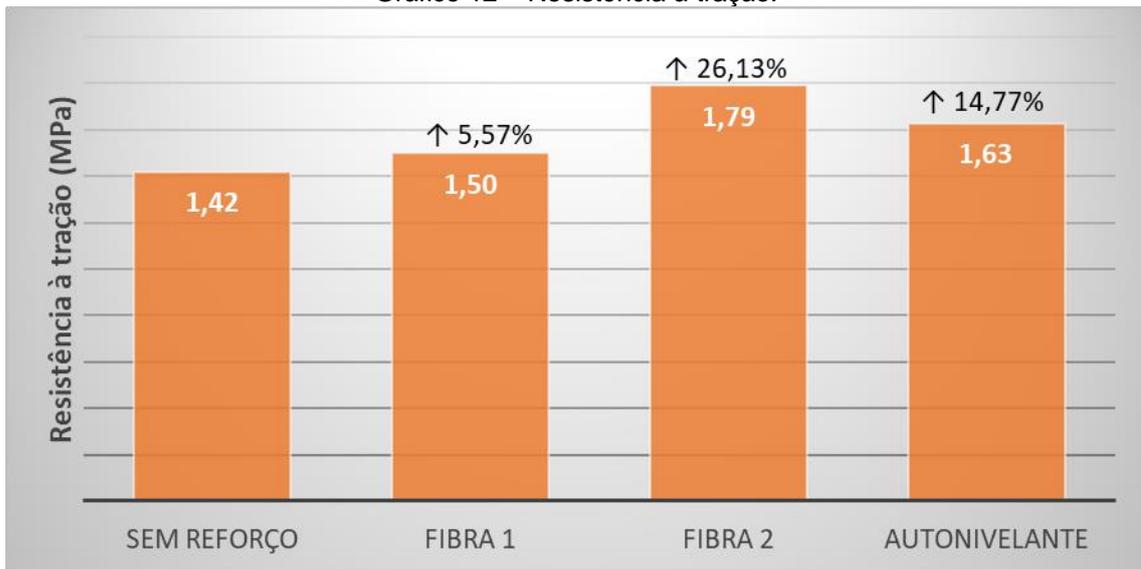
Na Tabela 31 e no Gráfico 12 podem ser verificados os resultados do ensaio de resistência à tração por compressão diametral. Este valor foi calculado de acordo com a Equação 3, presente na norma NBR 7222 (ABNT, 2011).

Tabela 31 – Resultados de resistência à tração por compressão diametral.

Exemplar		F (N)	Fct,sp (MPa)	Média (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coefficiente Variação (%)	Acréscimo de resistência (%)
A (sem reforço)	1	39987,50	1,273	1,418	0,129	9,062	-
	2	46031,24	1,465				
	3	47647,67	1,517				
B (Fibra 1)	1	51020,96	1,624	1,497	0,197	13,142	5,57
	2	39917,18	1,271				
	3	50177,59	1,597				
C (Fibra 2)	1	47717,88	1,519	1,789	0,247	13,822	26,13
	2	62968,01	2,004				
	3	57908,07	1,843				
D (Autonivelante)	1	52496,76	1,671	1,628	0,112	6,857	14,77
	2	47155,67	1,501				
	3	53761,72	1,711				

Fonte: autor.

Gráfico 12 – Resistência à tração.



Fonte: autor.

Pode-se concluir que os valores de todas as amostras atendem à exigência de 1 MPa (AUBICON, 2015), sendo que a fibra 1 apresentou um acréscimo de 5,57% na resistência e o autonivelante aumentou a resistência em 14,77%. A fibra 2 teve um melhor desempenho, com aumento de 26,13% na resistência em relação às amostras sem reforço, 19,47% em comparação com a fibra 1 e resistência 9,81% maior que o autonivelante.

4.2.3 Resistência à tração na flexão e compressão de prismas

A resistência à tração na flexão e compressão dos prismas foi calculada segundo a Equação 4 e 5, respectivamente, em concordância com a norma NBR 13279 (ABNT, 2005). Os resultados referentes à resistência à tração na flexão são mostrados na Tabela 32 e no Gráfico 13, e os resultados da resistência à compressão estão sendo demonstrados na Tabela 33 e no Gráfico 14.

Tabela 32 – Resultados da resistência à tração na flexão de prismas.

Exemplar		Ff (N)	Rf (MPa)	Média (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coefficiente Variação (%)	Acréscimo de resistência (%)
A (sem reforço)	1	1768	4,144	4,35	0,184	4,216	-
	2	1892,1	4,435				
	3	1912,8	4,483				
B (Fibra 1)	1	1954,1	4,580	4,63	0,049	1,048	6,31
	2	1974,8	4,628				
	3	1995,5	4,677				
C (Fibra 2)	1	*	*	4,47	0,737	16,480	2,69
	2	1685,3	3,950				
	3	2129,9	4,992				
D (Autonivelante)	1	2708,9	6,349	6,16	0,615	9,980	41,56
	2	2336,7	5,477				
	3	2843,3	6,664				

Fonte: autor.

Gráfico 13 – Resistência à tração na flexão de prismas.



Fonte: autor.

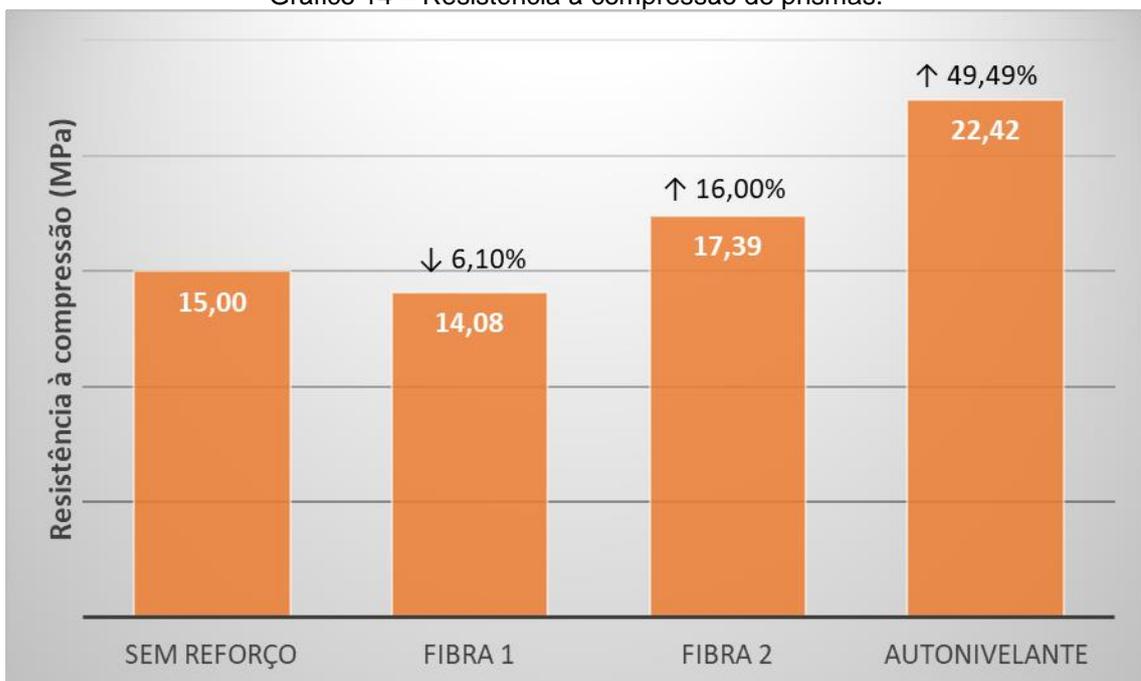
Os resultados de resistência à tração na flexão apresentaram valores aceitáveis frente ao requisito de 1 MPa da AUBICON (2015). Em relação ao acréscimo de resistência, a adição da fibra 1 gerou aumento de 6,31% e a fibra 2 de 2,69%. O contrapiso autonivelante apresentou o melhor desempenho, aumentando em 41,56% a resistência, sendo 33,16% maior que a fibra 1 e 37,85% maior que a fibra 2.

Tabela 33 – Resultados da resistência à compressão de prismas.

Exemplar		Fc (N)	Rc (MPa)	Média (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coefficiente Variação (%)	Acréscimo de resistência (%)
A (sem reforço)	1a	20657,9	12,911	15,00	1,438	9,592	-
	1b	21495,4	13,435				
	2a	26086	16,304				
	2b	25393,3	15,871				
	3a	25320,9	15,826				
	3b	25000,4	15,625				
B (Fibra 1)	1a	16749,6	10,469	14,08	2,135	15,159	-6,10
	1b	23801	14,876				
	2a	20161,6	12,601				
	2b	24059,5	15,037				
	3a	24473,1	15,296				
	3b	25930,9	16,207				
C (Fibra 2)	1a	26613,3	16,633	17,39	0,842	4,840	16,00
	1b	28184,9	17,616				
	2a	29115,4	18,197				
	2b	26148	16,343				
	3a	29508,3	18,443				
	3b	27419,8	17,137				
D (Autonivelante)	1a	32992,6	20,620	22,42	1,866	8,326	49,49
	1b	38007,2	23,755				
	2a	39878,6	24,924				
	2b	33323,5	20,827				
	3a	37604	23,503				
	3b	33385,5	20,866				

Fonte: autor.

Gráfico 14 – Resistência à compressão de prismas.



Fonte: autor.

A resistência à compressão das amostras também atendeu à exigência de 10 MPa (AUBICON, 2015). Porém, neste ensaio observou-se que a fibra 1 diminuiu a resistência em 6,10%. Acredita-se que o modo de compactação influenciou esta perda. Por outro lado, a fibra 2 concedeu um aumento de 16,00% e o autonivelante de 49,49%, sendo 59,19% maior que a fibra 1 e 28,87% maior que a fibra 2.

4.2.4 Resistência à flexão em placas

O ensaio de flexão em placas forneceu dados que possibilitam entender melhor o comportamento do contrapiso flutuante em relação à solicitação de tração, que normalmente ocorre neste elemento. Através deste ensaio foram obtidos dados referentes à resistência à flexão do material, a relação entre a espessura e a carga de ruptura e a deformação na ruptura. Ainda, nas amostras reforçadas com fibras foi possível analisar a carga residual que o componente resiste após a sua ruptura.

Todas as dimensões das amostras foram medidas previamente, uma vez que estes valores são necessários para o cálculo da resistência à flexão, conforme a Equação 6. Na Tabela 34 são apresentadas as medidas das placas.

Tabela 34 – Dimensões das placas.

Exemplar	Dimensões			Exemplar	Dimensões				
	L (mm)	b (mm)	h (mm)		L (mm)	b (mm)	h (mm)		
A	2a	240,00	302,00	21,14	B	2a	240,00	299,00	20,46
	2b	240,00	300,00	21,98		2b	240,00	299,00	23,34
	3a	240,00	301,00	30,18		3a	240,00	300,00	32,87
	3b	240,00	299,00	31,21		3b	240,00	297,00	32,56
	4a	240,00	302,00	41,45		4a	240,00	299,00	44,20
	4b	240,00	298,00	42,69		4b	240,00	305,00	45,12
	5a	240,00	300,00	52,55		5a	240,00	301,00	53,95
	5b	240,00	301,00	51,59		5b	240,00	300,00	53,81
	6a	240,00	301,00	61,04		6a	240,00	301,00	62,35
	6b	240,00	301,00	61,58		6b	240,00	297,00	64,20
C	2a	240,00	304,00	23,05	D	2a	240,00	300,00	20,07
	2b	240,00	300,00	22,89		2b	240,00	299,00	20,84
	3a	240,00	300,00	32,55		3a	240,00	292,00	30,62
	3b	240,00	299,00	33,58		3b	240,00	300,00	29,94
	4a	240,00	302,00	44,17		4a	240,00	299,00	40,54
	4b	240,00	297,00	43,40		4b	240,00	297,00	42,17
	5a	240,00	299,00	53,04		5a	240,00	299,00	50,20
	5b	240,00	297,00	53,27		5b	240,00	300,00	49,72
	6a	240,00	300,00	62,11		6a	240,00	296,00	58,15
	6b	240,00	303,00	64,48		6b	240,00	301,00	60,46

Fonte: autor.

4.2.4.1 Carga de ruptura

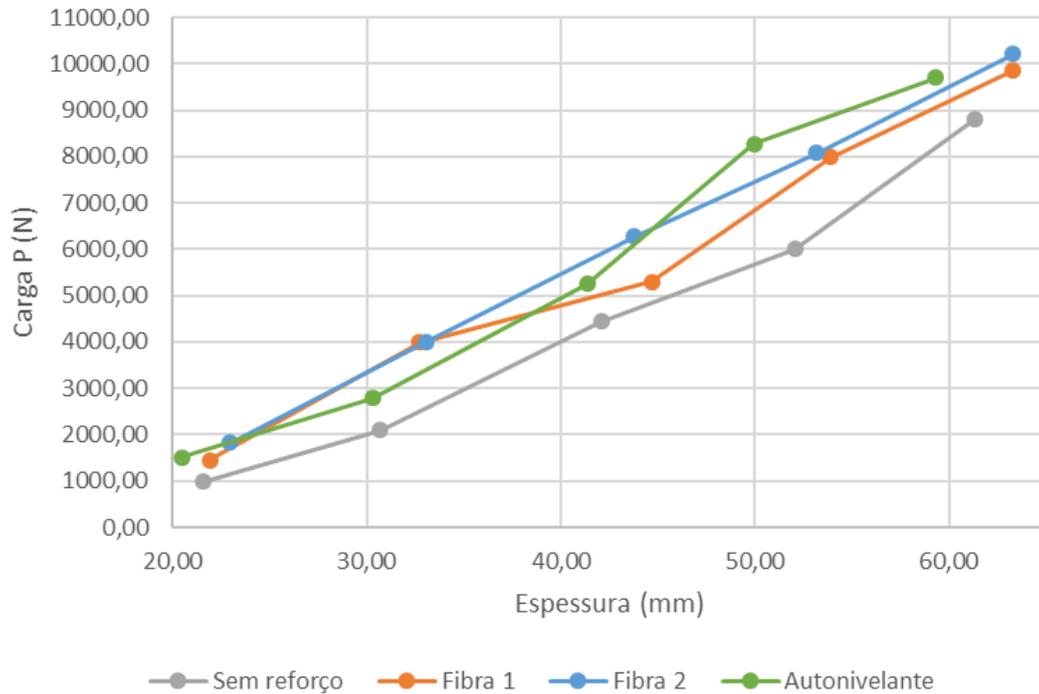
As cargas de ruptura de cada placa encontradas através da realização do ensaio são demonstradas na Tabela 35. Com estes valores foi possível traçar o gráfico relacionando a carga com a espessura da placa. Dessa forma, o Gráfico 15 mostra a comparação entre as relações de carga e espessura referentes às amostras sem reforço, as reforçadas com a fibra 1 e com a fibra 2 e o autonivelante.

Tabela 35 – Cargas de ruptura no ensaio de flexão.

Exemplar	h (mm)	P (N)	Exemplar	h (mm)	P (N)
A	2a	21,14	B	2a	20,46
	2b	21,98		2b	23,34
	3a	30,18		3a	32,87
	3b	31,21		3b	32,56
	4a	41,45		4a	44,20
	4b	42,69		4b	45,12
	5a	52,55		5a	53,95
	5b	51,59		5b	53,81
	6a	61,04		6a	62,35
	6b	61,58		6b	64,20
C	2a	23,05	D	2a	20,07
	2b	22,89		2b	20,84
	3a	32,55		3a	30,62
	3b	33,58		3b	29,94
	4a	44,17		4a	40,54
	4b	43,40		4b	42,17
	5a	53,04		5a	50,20
	5b	53,27		5b	49,72
	6a	62,11		6a	58,15
	6b	64,48		6b	60,46

Fonte: autor.

Gráfico 15 – Comparação entre as relações de carga e espessura.



Fonte: autor.

Observando os valores da Tabela 35, pode-se concluir que ao aumentar a espessura do contrapiso, ele passa a resistir mais carga. Isto já era esperado, visto que para proporcionar a mesma resistência à flexão quando um componente aumenta sua altura, a carga em que ocorre a ruptura deve ser maior, conforme a Equação 6.

Além disso, todas as amostras reforçadas com fibra resistiram a maiores cargas, de acordo com o Gráfico 15. Assim, para uma mesma espessura pode-se atingir maiores cargas apenas com a adição de fibras.

4.2.4.2 Resistência à flexão

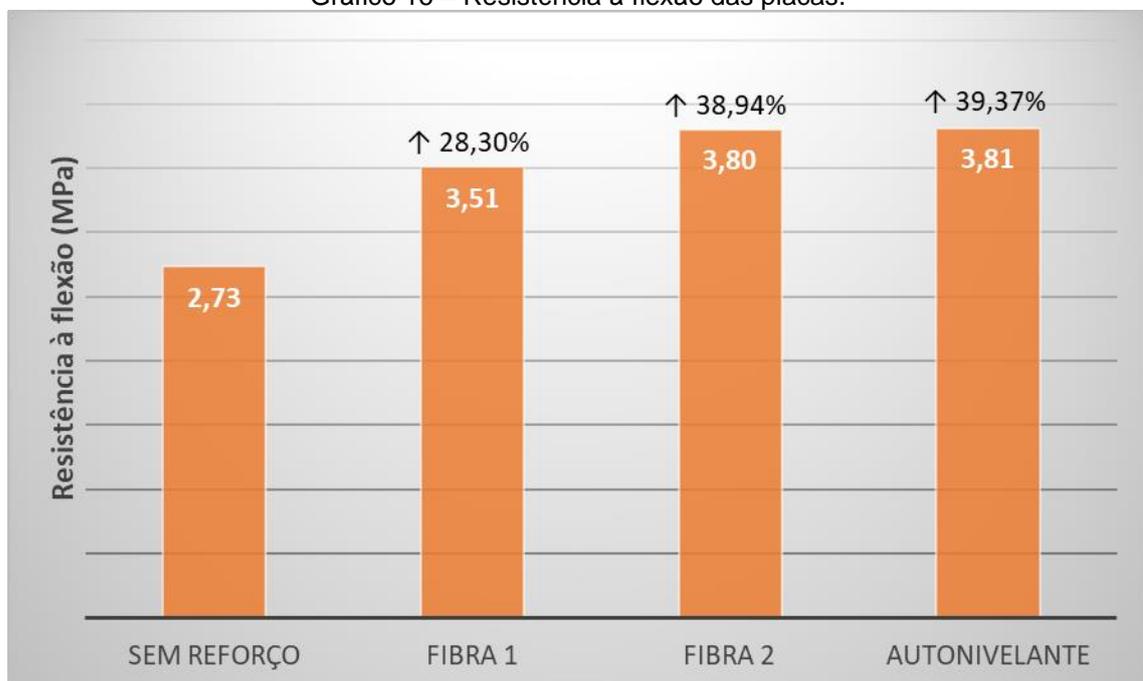
A resistência à flexão das placas foi calculada através da Equação 6, utilizando os valores das dimensões da placa e a respectiva carga de ruptura determinada no ensaio. Os resultados de cada amostra são exibidos na Tabela 36 e no Gráfico 16.

Tabela 36 – Resultados da resistência à flexão das amostras.

Exemplar		σ_r (MPa)	Exemplar		σ_r (MPa)	Exemplar		σ_r (MPa)	Exemplar		σ_r (MPa)
A	2a	2,68	B	2a	3,69	C	2a	4,17	D	2a	4,77
	2b	2,39		2b	3,57		2b	4,07		2b	3,90
	3a	2,62		3a	4,75		3a	5,13		3a	4,15
	3b	2,71		3b	4,22		3b	3,73		3b	3,25
	4a	3,26		4a	3,24		4a	3,57		4a	3,47
	4b	2,78		4b	3,10		4b	4,31		4b	3,94
	5a	2,83		5a	3,14		5a	3,42		5a	3,67
	5b	2,48		5b	3,45		5b	3,48		5b	4,30
	6a	3,17		6a	2,91		6a	3,18		6a	3,39
6b	2,44	6b	3,01	6b	2,92	6b	3,26				
σ_r Média (MPa)		2,73	σ_r Média (MPa)		3,51	σ_r Média (MPa)		3,80	σ_r Média (MPa)		3,81
Desvio padrão (MPa)		0,29	Desvio padrão (MPa)		0,58	Desvio padrão (MPa)		0,64	Desvio padrão (MPa)		0,50
Coeficiente Variação (%)		10,64	Coeficiente Variação (%)		16,67	Coeficiente Variação (%)		16,92	Coeficiente Variação (%)		13,07
Acréscimo de resistência		-	Acréscimo de resistência		28,30	Acréscimo de resistência (%)		38,94	Acréscimo de resistência (%)		39,37

Fonte: autor.

Gráfico 16 – Resistência à flexão das placas.



Fonte: autor.

Os resultados demonstram que a adição da fibra 1 acarretou um aumento de 28,30% na resistência à flexão do contrapiso, a fibra 2 apresentou uma resistência 38,94% maior que as amostras sem reforço e o contrapiso autonivelante teve um desempenho 39,37% melhor em relação às amostras sem reforço. Ou seja, este fato comprova a eficiência das fibras no aumento da resistência deste elemento. Os resultados da fibra 2 e do autonivelante foram semelhantes e tiveram mais de 8% de aumento na resistência em comparação com a fibra 1.

4.2.4.3 Deformação na ruptura e carga residual

As medidas das deformações foram obtidas através do equipamento de ensaio e são mostradas na Tabela 37.

Tabela 37 – Deformação na ruptura.

Exemplar	h (mm)	Deformação na ruptura (mm)	Exemplar	h (mm)	Deformação na ruptura (mm)
A	2a	21,14	B	2a	20,46
	2b	21,98		2b	23,34
	3a	30,18		3a	32,87
	3b	31,21		3b	32,56
	4a	41,45		4a	44,20
	4b	42,69		4b	45,12
	5a	52,55		5a	53,95
	5b	51,59		5b	53,81
	6a	61,04		6a	62,35
	6b	61,58		6b	64,20
C	2a	23,05	D	2a	20,07
	2b	22,89		2b	20,84
	3a	32,55		3a	30,62
	3b	33,58		3b	29,94
	4a	44,17		4a	40,54
	4b	43,40		4b	42,17
	5a	53,04		5a	50,20
	5b	53,27		5b	49,72
	6a	62,11		6a	58,15
	6b	64,48		6b	60,46

Fonte: autor.

É importante constatar que o equipamento afere a deformação por meio do dispositivo de aplicação de carga, ou seja, não tem uma boa precisão e pode gerar erros. Dessa forma, não foi possível medir a deformação após a ruptura, uma vez que no rompimento da amostra o dispositivo de carga tem uma instabilidade e perde a precisão da medição.

Analisando os resultados da deformação na ruptura das amostras, pode-se deduzir que a mesma variou muito e não teve um padrão estabelecido. Ainda, as amostras reforçadas com fibras apresentaram valores semelhantes de deformação antes da ruptura, quando comparadas com os exemplares sem reforço.

Após a ruptura do compósito, as amostras com fibras forneceram a capacidade de resistir cargas residuais, o que é uma característica de elementos reforçados com fibras. Neste momento ocorreu o fenômeno *strain softening*, onde as fibras se juntam em uma fissura principal e a capacidade de suportar carga é reduzida gradualmente. Na Tabela 38 pode-se observar as cargas residuais para cada placa obtidas no ensaio. É importante notar que estes valores são máximos, ou seja, as cargas foram diminuindo ao decorrer do ensaio.

Tabela 38 – Cargas residuais das amostras com fibras.

Exemplar	h (mm)	Carga residual (kgf)	Exemplar	h (mm)	Carga residual (kgf)	
B	2a	20,46	C	2a	*	
	2b	23,34		2b	22,89	*
	3a	32,87		3a	32,55	*
	3b	32,56		3b	33,58	81,18
	4a	44,20		4a	44,17	90,67
	4b	45,12		4b	43,40	69,59
	5a	53,95		5a	53,04	177,13
	5b	53,81		5b	53,27	276,23
	6a	62,35		6a	62,11	491,31
	6b	64,20		6b	64,48	247,76

*: não obtido

Fonte: autor.

De acordo com a Tabela 38 apresentada, é possível verificar que espessuras maiores de contrapiso oferecem maiores cargas residuais. Estas cargas são características do teor de fibras utilizado no trabalho. Ao aumentar a dosagem de fibras do compósito, sua carga residual será maior (Figueiredo, 2011a).

O contrapiso autonivelante não teve capacidade de suportar cargas residuais, visto que o comprimento das fibras incorporadas ao compósito era curto e com isso as placas quebravam assim que os corpos de prova rompiam.

4.2.4.4 Comportamento

O contrapiso reforçado com fibras também gerou um comportamento diferente em relação ao não reforçado. No instante da ruptura, as amostras sem reforço quebravam perto do local de aplicação de carga, em um formato linear (Figura 33), enquanto que os exemplares com fibras apresentaram fissuras não lineares em formatos de Y, conforme mostra a Figura 34.

Figura 33 – Comportamento da amostra sem reforço.



Fonte: autor.

Figura 34 – Comportamento da amostra reforçada com fibra.



Fonte: autor.

No estágio pós-fissuração, as fibras entraram em tensão e impediram o rompimento brusco da placa, segundo o detalhe mostrado na Figura 35. Neste estágio, as placas suportaram as cargas residuais demonstradas na Tabela 35.

Figura 35 – Detalhe das fibras sob tensão.



Fonte: autor.

4.3 Análise de custo

O custo do contrapiso com fibras pode ser comparado com o custo da tela soldada. No mercado da construção civil, o preço da fibra é encontrado em R\$/kg, e o da tela soldada é em R\$/m². Para a comparação, especificou-se a tela soldada como sendo galvanizada com diâmetro dos fios de 1,65 mm e espaçamento entre os fios de 5,0 x 5,0 cm, conforme a norma NBR 13753 (ABNT, 1996). O contrapiso autonivelante é obtido já misturado através da empresa Conpasul e tem seu preço dado em R\$/m². A fibra não foi especificada pois ambas as fibras utilizadas neste trabalho podem ser adquiridas pelo mesmo preço, segundo o representante da empresa.

O custo do contrapiso convencional foi calculado conforme o preço e o consumo dos materiais que foram utilizados no trabalho. Assim, na Tabela 39 é mostrado o preço por metro cúbico deste material.

Tabela 39 – Custo contrapiso convencional.

Material	Consumo/m ³	Custo	Total (R\$/m ³)
Areia	2,62 m ³	R\$120,00	R\$ 313,96
Cimento	13,17 sacos	R\$ 34,00	R\$ 447,66
Fibra	4,51 kg	R\$ 25,00	R\$ 112,85
Custo sem fibra			R\$ 761,62
Custo com fibra			R\$ 874,47

Fonte: autor.

Nesse caso, supondo uma camada de contrapiso de 3 cm de espessura e um teor de fibras de 2 kg/m³, o preço calculado de cada sistema pode ser analisado na Tabela 40.

Tabela 40 – Custos dos materiais de reforço.

Sistema	Espessura 3 cm
Contrapiso sem fibras	R\$ 22,85
Contrapiso com fibras	R\$ 26,23
Tela soldada	R\$ 32,85
Autonivelante	R\$ 28,00 até R\$ 40,00

Fonte: autor.

Analisando o custo dos diferentes contrapisos, pode-se perceber que o reforço com a adição de fibras ao contrapiso convencional tem um custo menor em relação ao reforço com tela soldada. O contrapiso autonivelante é vendido por metro quadrado e custa R\$28,00/m², mas com a mão de obra de aplicação e o bombeamento pode chegar em até R\$ 40,00. Ou seja, ele pode ter um custo final maior em comparação com os outros tipos de contrapiso.

É importante salientar que a produtividade de cada sistema não foi levada em conta. Ou seja, mesmo que o custo do autonivelante seja maior, com o aumento de produtividade que este sistema gera, seu custo pode se equiparar aos outros sistemas ou até mesmo ser menor.

5. CONCLUSÃO

O procedimento experimental deste trabalho avaliou o desempenho mecânico de amostras de contrapiso convencional reforçadas com dois tipos de fibra e de contrapiso autonivelante com fibras poliméricas incorporadas em relação aos requisitos estabelecidos pela AUBICON (2015). Ainda, foi feita uma comparação com uma amostra sem reforço para verificar se houve aumento ou diminuição da resistência do compósito.

O ensaio de flexão de placas foi realizado com o objetivo de analisar o comportamento do contrapiso de forma a obter resultados mais reais, visto que esta solicitação é a que normalmente ocorre em contrapisos flutuantes. Os resultados deste ensaio demonstraram que a fibra TUF-STRAND-SF aumentou em 28,30% a resistência à flexão do material, a fibra TUF-STRAND Maxten apresentou resistência 38,94% maior e o contrapiso autonivelante teve resistência 39,37% maior em relação ao contrapiso sem reforço. Além disso, o contrapiso convencional reforçado com fibras ofereceu capacidade de suporte mesmo após a fissuração, resistindo a cargas residuais após a ruptura.

O ensaio de tração na flexão de prismas, recomendado pela AUBICON (2015) para o cálculo da resistência do compósito, também apresentou resultados positivos. Houve um aumento de 6,31% na resistência à tração na flexão do contrapiso reforçado com a fibra TUF-STRAND-SF, 2,69% para a fibra TUF-STRAND Maxten e 41,56% para o contrapiso autonivelante.

Em comparação com o ensaio de flexão de placas, o ensaio de tração na flexão resultou em resistências maiores. Acredita-se que isto ocorreu devido às amostras em prismas serem menores e mais uniformes. As placas, por serem maiores, são mais suscetíveis a erros, o que pode diminuir a resistência do material. Entretanto, o aumento de resistência nas amostras convencionais reforçadas prismáticas foi menor do que as placas, enquanto que as amostras de autonivelante apresentaram resultado semelhante.

A resistência à tração por compressão diametral teve um incremento de 26,13% para a fibra TUF-STRAND Maxten, de 5,57% para a TUF-STRAND-SF e de 14,77% para o autonivelante, demonstrando assim a eficiência do reforço com fibras para o compósito.

O ensaio de resistência à compressão foi realizado de duas formas, sendo o primeiro através de corpos de prova cilíndricos e o segundo por meio das amostras de prismas rompidas no ensaio de tração na flexão. Os exemplares cilíndricos reforçados com fibras tiveram um aumento na resistência à compressão de 4,97% para a fibra TUF-STRAND-SF, de 13,53% para a fibra TUF-STRAND Maxten e de 23,39% para o contrapiso autonivelante. As unidades prismáticas com adição da fibra TUF-STRAND Maxten apresentaram aumento de 16,00% e o contrapiso autonivelante teve desempenho 49,49% em comparação com as amostras sem reforço. De maneira oposta, observou-se que os corpos de prova prismáticos com a fibra TUF-STRAND-SF resultaram em diminuição de 6,10% na resistência à compressão. Este foi o único valor que diminuiu em todos os ensaios realizados.

Apesar da deformação das placas ser medida, os resultados obtidos não foram considerados precisos. Isto ocorreu por causa da medição através do dispositivo de aplicação de carga. Também, a deformação no estágio pós-fissuração das amostras com fibras não teve êxito devido à instabilidade sofrida pelo dispositivo no momento de ruptura da placa. Assim, não pode se afirmar que as amostras com fibras se deformam mais.

Por fim, conclui-se que os resultados dos ensaios mecânicos efetuados no trabalho foram satisfatórios. O objetivo de aumentar a resistência à flexão do contrapiso ao adicionar fibras foi alcançado em todas amostras. Além disso, quase todos os exemplares também atingiram resistência à compressão superiores. Com isso, pode-se dizer que as fibras podem ser utilizadas como alternativa ao reforço da camada de regularização, oferecendo um desempenho mecânico adequado, sendo capazes de substituir a tela de aço e ainda fornecer o benefício de aumento de produtividade na execução do sistema de piso.

Em relação aos custos do sistema, pode-se dizer que o contrapiso com fibras é mais barato que o sistema com tela soldada. O custo da execução do contrapiso com tela soldada pode ser maior ainda se for levado em conta a perda de produtividade que este sistema gera. Já o contrapiso autonivelante tem o maior custo, mas se o aumento de produtividade que este sistema fornece for considerado no cálculo, o seu custo pode ser semelhante ou até mesmo menor do que os outros sistemas.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Ao realizar o trabalho, constatou-se que embora o contrapiso seja um elemento construtivo amplamente utilizado na construção civil, o mesmo carece de normas e parâmetros de dimensionamento. Em consequência, muitas patologias surgem no sistema e prejudicam o seu desempenho.

Nesse contexto, para trabalhos futuros sugere-se:

- Elaborar protótipos para análise das propriedades do contrapiso flutuante com fibras, buscando verificar a ocorrência de retração e fissuras no elemento;
- Realizar ensaio acústico de ruído de impacto em obras com contrapiso flutuante reforçado com fibras para analisar o desempenho acústico do sistema em relação às exigências da NBR 15575-3 (ABNT, 2013);
- Utilizar diferentes teores de fibras para o reforço do contrapiso;
- Empregar extensômetros para medir a deformação que ocorre nas placas de forma mais precisa.
- Analisar o custo do contrapiso autonivelante levando em conta o aumento de produtividade que este sistema gera.

REFERÊNCIAS

ACITAL. *Catálogo de mantas acústicas*. Blumenau, 2018. Disponível em: <<http://acital.com.br/mantas-acusticas>>. Acesso em: 16 out. 2018.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *ASTM C156: Standard test method for water loss [from a mortar specimen] through liquid membrane-forming curing compounds for concrete*. West Conshohocken, 2017.

_____. *ASTM C1609: Standard test method for flexural performance of fiber-reinforced concrete (using beam with third-point loading)*. West Conshohocken, 2006.

ARCELLORMITTAL. *O uso de fibras de aço no concreto*. [S.l.] 2016. Disponível em: <<http://blog.arcelormittal.com.br/o-uso-de-fibras-de-aco-no-concreto/>>. Acesso em: 04 set. 2018.

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

_____. *NBR 13753: Revestimento de piso interno ou externo com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante – Procedimento*. Rio de Janeiro, 1996.

_____. *NBR 15530: Fibras de aço para concreto – Especificações*. Rio de Janeiro, 2007.

_____. *NBR 15575-1: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais*. Rio de Janeiro, 2013.

_____. *NBR 15575-3: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos*. Rio de Janeiro, 2013.

_____. *NBR 16541: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura para a realização de ensaios*. Rio de Janeiro, 2016.

_____. *NBR 16697: Cimento Portland – Requisitos*. Rio de Janeiro, 2018.

_____. *NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova*. Rio de Janeiro, 2015.

_____. *NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, 2018.

_____. *NBR 6467: Agregados – Determinação do inchamento de agregado miúdo – Método de ensaio*. Rio de Janeiro, 2006.

_____. *NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação*. Rio de Janeiro, 2009.

_____. *NBR 7215: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão*. Rio de Janeiro, 2019.

_____. *NBR 7222: Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, 2011.

_____. *NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica*. Rio de Janeiro, 2003.

_____. *NBR NM 45: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios*. Rio de Janeiro, 2006.

Associação Nacional de Pisos e Revestimentos de Alto Desempenho (ANAPRE). *Macrofibras sintéticas para pisos industriais – especificações (CF 001/2011)*. São Paulo, 2011.

Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). *UNE-EN 14889-2: Fibras para hormigón – Parte 2: fibras poliméricas – Definiciones, especificaciones y conformidad*. Madrid, 2008.

AUBICON. *Manual de aplicação – Mantas acústicas*. São Paulo [201?]. Disponível em: <<https://www.aubicon.com.br/produtos/mantas-acusticas/sound-soft-contrapiso/>>. Acesso em 12 out. 2018.

_____. *Manual técnico – Argamassa de regularização sobre mantas acústicas*. São Paulo, 2015.

_____. *Produtos – Mantas acústicas*. São Paulo, entre 2012 e 2016. Disponível em: <<https://www.aubicon.com.br/produtos/mantas-acusticas/>> Acesso em 16 out. 2018.

BARROS, Alexandre Rodrigues de. *Avaliação do comportamento de vigas de concreto autoadensável reforçado com fibras de aço*. 2009. 155 f. Dissertação (Programa De Pós-Graduação em Engenharia Civil – Mestrado) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2009.

BARROS, Mércia Maria Semensato Bottura de. *Tecnologia de produção de contrapisos para edifícios habitacionais e comerciais*. 1991. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

BARROS, Rui Nuno Almeida de Sá. *Betonilhas para o revestimento de pavimentos*. 2012. 83 f. Tese (Mestrado). Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2012.

BAUTECH. *Ficha técnica 1005 – Fibra de polipropileno*. 2014. Disponível em: <<http://www.bautechbrasil.com.br/produtos/aditivos-para-argamassas-e-concretos/bautech-fibra-de-polipropileno>>. Acesso em: 09 set. 2018.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. *BS 8204-1: Screeds, bases and in situ floorings - Part 1: Concrete bases and cementitious levelling screeds to receive floorings - Code of practice*. Reino Unido, 2003.

_____. *BS EN 1606: Thermal insulating products for building applications. Determination of compressive creep.* Londres, 2013.

_____. *BS EN 8204-1: Screeds, bases and in-situ floorings. Concrete bases and cement sand levelling screeds to receive floorings - Code of practice.* Londres, 2003.
CÁCERES, Alan Renato Estrada. *Caracterização geométrica e mecânica de macrofibras poliméricas.* 2016. 80 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

CENTOFANTE, G.; DAGOSTINI, C. M. *Análise das propriedades de argamassas de revestimento com adição de fibras de polipropileno.* In: UNOESC & CIÊNCIA – ACET. Ed. especial 2014, p. 7-16, Joaçaba, 2014.

CICHINELLI, Gisele. Contrapiso. In: *Construção passo a passo.* 1ª ed., capítulo 1. São Paulo: Editora PINI, 2009. 259 f., v. 1.

CONCREFIBER. *Informativo técnico Stronger Iron.* Sorocaba, 2016. Disponível em: <<https://concrefiber.com.br/linha-industrial-e-comercial/macrofibra-stronger-iron/>>. Acesso em: 09 set. 2018.

EGLE, Telma. *Contrapiso autonivelante.* Ed. 164. São Paulo: Editora PINI, 2010. Disponível em <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/164/contrapiso-autonivelante-com-prazo-de-execucao-reduzido-e-custos-286771-1.aspx>>. Acesso em 29 set. 2018.

Experts for Specialised Construction and Concrete Systems – EFNARC. *EFNARC Three point bending test on square panel with notch: Flexural tensile strength of fibre concrete on sprayed test specimen.* Reino Unido, 2011.

FERRAZ, Rafaela. *Atenuação de ruído de impacto em pisos de edificações de pavimentos múltiplos.* 2008. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas – Mestrado) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

FIGUEIREDO, A.D.; NETO, P.J.C.; FARIA, H.M. A nova normalização brasileira sobre fibras de aço. In: *Revista Concreto e Construções.* São Paulo: IBRACON - Instituto Brasileiro do Concreto, 2008.

FIGUEIREDO, Antonio Domingues de. Concreto com fibras. In: *Concreto: ciência e tecnologia.* 1ª ed., capítulo 37. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), 2011a.

FIGUEIREDO, Antonio Domingues de. *Concreto reforçado com fibras.* 2011. 248 f. Tese (Livre docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011b.

FIORITO, Antonio José Salvador Ítalo. *Manual de argamassas e revestimentos: estudos e procedimentos de execução.* 2ª ed. São Paulo: Editora PINI, 2009.

FÜHR, Guilherme. *Argamassas de contrapiso com propriedades de isolamento acústico: atenuação de ruídos de impacto em edificações*. 2016. Trabalho de diplomação (Departamento de Engenharia Civil) – Escolha de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

GALVÃO, Carolina Maria Sodré. *Requisitos e avaliação de argamassas de betonilhas*. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil) - Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2016.

GÓIS, Fernanda Alves Pinto. *Avaliação experimental do comportamento de concreto fluido reforçado com fibras de aço: Influência do fator de forma e da fração volumétrica das fibras nas propriedades mecânicas do concreto*. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Mestrado) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2010.

INSTITUTO DE INVESTIGAÇÃO E DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO EM CIÊNCIAS DA CONSTRUÇÃO – ITeCons. *Determinação da fluência em compressão da manta Sound Soft 05/600 da empresa Aubicon: Relatório de ensaio ISO012/2014*. Coimbra, 2014.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 10052: Acoustics -- Field measurements of airborne and impact sound insulation and of service equipment sound -- Survey method*. Genebra, 2004.

_____. *ISO 140-4: Acoustics -- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 4: Field measurements of airborne sound insulation between rooms*. Genebra, 1998.

_____. *ISO 140-7: Acoustics -- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 7: Field measurements of impact sound insulation of floors*. Genebra, 1998.

_____. *ISO 15712-2: Building acoustics -- Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements -- Part 2: Impact sound insulation between rooms*. Genebra, 2005.

_____. *ISO 9052-1: Acoustics -- Determination of dynamic stiffness -- Part 1: Materials used under floating floors in dwellings*. Genebra, 1989.

Japan Society of Civil Engineers. *JSCE-SF4: Method of tests for flexural strength and flexural toughness of steel fiber reinforced concrete*. Tóquio, 1984.

JÚNIOR, J.C.A.; SILVA, L.C.F.; MORAVIA, W.G. Análise experimental da adição de fibras poliméricas nas propriedades mecânicas do concreto. In: *Revista Matéria*, v. 22, n. 01. Rio de Janeiro: UFRJ, 2017.

LEITE, Alex Macêdo. *Avaliação do uso da macrofibra polimérica na composição de concreto para fins estruturais*. 2018. 257 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

LUCENA, Júlio César Tavares de. *Concreto reforçado com fibras de polipropileno: estudo de caso para aplicação em painel alveolar de parede fina*. 2017. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

MAPEI. *Caderno técnico – Realização de betonilhas para o assentamento de pavimentos*. Lisboa, 2012. Disponível em: <http://www.mapei.com/public/PT/menu/QT_BETONILHAS.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2018.

MONTARDO, Júlio Portella. *A retração do concreto*. São Paulo, 2009. Disponível em: <http://www.anapre.org.br/boletim_tecnico/edicao16.asp>. Acesso em: 13 nov. 2018.

NEUBAUER, Paola Mezzomo. *Estudo comparativo entre diversas composições com pisos flutuantes de madeira natural – assoalho e tacos – quanto ao isolamento de ruído de impacto*. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

NEVES, A.; ANTÓNIO J.; NOSSA, A. *Resultados experimentais da rigidez dinâmica de materiais usados sob pavimentos flutuantes*. In: ACÚSTICA 2008, Coimbra, 2008.

OGAWA, M. O. A.; FILHO, M. C. A.; RASSI, P. F. *Isolamento acústico ao ruído de impacto em lajes de edifícios habitacionais*. 2014. Monografia (Curso de Engenharia Civil) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

PEDROSO, Miguel Ângelo Teixeira. *Estudo comparativo entre modernas composições de pisos flutuantes quanto ao desempenho ao isolamento ao ruído de impacto*. 2007. 141 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

PEREYRON, Daniel. *Estudo de tipologias de lajes quanto ao isolamento ao ruído de impacto*. 2008. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

PIRES, Andréa. *Poluição sonora já é considerada um problema de saúde pública mundial*. 2016. Disponível em: <<https://www.segs.com.br/saude/13685-poluicao-sonora-ja-e-considerada-um-problema-de-saude-publica-mundial>>. Acesso em: 14 out. 2018.

PRAGOSA, Rui Pedro Borges. *Desempenho das argamassas de betonilha com incorporação de RCD*. 2012. 113 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa, Lisboa, 2012.

PROACÚSTICA – Associação Brasileira para Qualidade Acústica. *Manual Proacústica sobre a Norma de Desempenho*: Guia prático sobre cada uma das partes relacionadas a áreas de acústica nas edificações da Norma ABNT NBR 15575:2013 Edificações – Desempenho. 3.ed. São Paulo: Editora Rush, 2015.

RODRIGUES, P. P. F.; MONTARDO, J. P. *A influência da Adição de Fibra de Polipropileno nas Propriedade dos Concretos para Pisos e Pavimentos*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO (IBRACON), 44. Belo Horizonte, 2002.

RUBIN, Ariane Prevedello. *Argamassas autonivelantes industrializadas para contrapiso: análise do desempenho físico-mecânico frente às argamassas dosadas em obra*. 2015. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

SALVADOR, Renan Pícolo. *Análise comparativa de métodos de ensaio para caracterização do comportamento mecânico de concreto reforçado com fibras*. 2013. 178 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2013.

SCHIAVI, A. *et al. Acoustical performance characterization of resiliente materials used under floating floors in dwellings*. In: ACTA ACUSTICA UNITED WITH ACUSTICA, v. 93, p. 477-485, Stuttgart, 2007.

SIKA. *Ficha técnica de produto – SikaFiber -12 Micro PP*. Osasco, 2017. Disponível em: http://bra.sika.com/dms/getdocument.get/0d48ef1d-f9d9-3f6b-bedf-b1f1851a402d/FT_SikaFiber-12%20Micro%20PP%20rev05.pdf. Acesso em: 13 set. 2018.

SILVA, E. L.; PATRÍCIO, J. V.; ANTONIO, J. *Impact sound reduction provided by current Portuguese and Brazilian floating floors: Comparison between lab tests and EN 12354 results*. In: EURONOISE, Praga, 2012.

SILVA, Narciso Gonçalves da. *Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária*. 2006. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Construção Civil – Mestrado) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006a.

SILVA, Rosiany da Paixão. *Argamassas com adição de fibras de polipropileno – Estudo do comportamento reológico e mecânico*. 2006. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006b.

Sindicato da Indústria da Construção Civil do Distrito Federal (SINDUSCON-DF) e Associação das Empresas do Mercado Imobiliário do Distrito Federal (ADEMI-DF). *Avaliação do desempenho acústico de edificações em diferentes sistemas construtivos, conforme a Norma de Desemepnho ABNT NBR 15575/2013*. Brasília, 2017.

SOUSA, Nelson Ricardo Vieira de. *Caracterização do comportamento acústico a sons de percussão de soluções à base de espumas de poliuretano*. 2008. Dissertação (Departamento de Engenharia Civil – Mestrado Integrado) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2008.

SOUZA, Natália Cerqueira de. *Análise de desempenho do contrapiso autonivelante em relação ao sistema tradicional*. 2013. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Construção Civil – Mestrado) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2013.

SOUZA, Ubiraci Espinele Lemes de. *Argamassa para contrapiso*. Equipe de Obra, 2007. Disponível em: <<http://equipedeobra17.pini.com.br/construcao-reforma/12/artigo56461-1.aspx>>. Acesso em: 03 out. 2018.

TÉCHNE. *Contrapiso flutuante*. Ed. 164. São Paulo: Editora PINI, 2010. Disponível em <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/164/artigo286762-1.aspx>>. Acesso em 29 set. 2018.

_____. *Execução de contrapiso autonivelante industrial*. Ed. 192. São Paulo: Editora PINI, 2012. Disponível em <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/192/execucao-de-contrapiso-autonivelante-industrial-286998-1.aspx>>. Acesso em 29 set. 2018.

VIAPOL. *Ficha técnica de produto – TUF STRAND Maxten*. Caçapava, 2018a. Disponível em: <<http://www.viapol.com.br/produtos/viapol/fibras/macro-fibra/tuf-strand-max-ten/>>. Acesso em: 05 mai. 2019.

VIAPOL. *Ficha técnica de produto – TUF STRAND SF*. Caçapava, 2018b. Disponível em: <<http://www.viapol.com.br/produtos/viapol/fibras/macro-fibra/tuf-strand-sf/>>. Acesso em: 08 set. 2018.

ZUCHETTO, L. K; NUNES, M. F. O.; PATRÍCIO, J. V. *Influência das condições de compressão da camada resiliente no desempenho acústico de pisos*. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON ACOUSTICS, 22., Buenos Aires, 2016.