

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE ENGENHARIAS, DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

MARCUS VINICIUS NIEMIETZ WAGNER

VIABILIDADE FINANCEIRA DO USO DE CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS
DE AÇO E POLIPROPILENO EM PISOS INDUSTRIAIS DE CÂMARAS
CONGELADAS

PONTA GROSSA

2023

MARCUS VINICIUS NIEMIETZ WAGNER

VIABILIDADE FINANCEIRA DO USO DE CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS
DE AÇO E POLIPROPILENO EM PISOS INDUSTRIAIS DE CÂMARAS
CONGELADAS

Trabalho de conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil na Universidade Estadual de Ponta Grossa
Orientador: Dr^a. Andressa Gobbi
Coorientador: Me. Gabriela Mazureki Campos Bahniuk

PONTA GROSSA
2023

Dedico esta trabalho aos meus pais que sempre ensinaram sobre dedicação e persistência, tornando tudo o que é possível em minha vida.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer, em primeiro lugar, aos meus pais por sempre me instigarem a ser alguém melhor e a enfrentar os infortúnios da vida. Obrigado por serem o apogeu de pais e amigos.

Agradeço ao meu irmão Frederico Niemietz Wagner, por mudar minhas perspectivas ao longo da vida, forjar meu conhecimento e trabalhar em minha humildade e compaixão. Sem as nossas conversas diárias, eu não seria metade do homem que sou hoje.

Agradeço ao meu companheiro de vida, irmão e eterno amigo Guilherme Klosowski, por sempre proporcionar descanso nas tribulações da vida e alegria nos dias mais tristes. Por ser um ombro de apoio e fundamento ao longo de todo meu trajeto.

Agradeço minha eterna amiga e namorada Flávia Alessandra Miketen, por estar presente nos momentos mais difíceis de minha vida, por se alegrar nos dias nublados e persistir no amadurecimento de meu espírito. Certamente, sei que agora ao seu lado posso finalmente começar a superar o que sou.

Agradeço ao Luciano José Senger por proporcionar o seu modelo \LaTeX para trabalhos acadêmicos e instigar uma chama no meu conhecimento e desenvolvimento de *software*.

Agradeço à Hexágono Engenharia Civil LTDA. por proporcionar todo conhecimento técnico no decorrer do trabalho.

Agradeço à minha segunda mãe Camila Raquel Santos Agostinho Pereira e segundo pai Lukas Tatim, por prestigiar de todas as minhas conquistas e auxiliar em toda minha jornada. Não só pelo conhecimento, mas pela amizade, companheirismo e presença.

Um agradecimento especial às minhas orientadoras, por não se submeterem às minhas teimosias e serem muito pacientes. Disponibilizando o seu tempo e carinho ao decorrer de todo trabalho, mas por sempre me surpreenderem pela bondade, carinho e grande conhecimento.

À todos que fizeram parte dessa minha jornada, desde muito antes da faculdade, o meu muito obrigado.

Um rei pode induzir um homem, um pai pode assumir um filho, mas lembre-se disso: Mesmo aqueles que o induzirem forem reis ou homens de poder sua alma pertencerá apenas a você. Quando estiver perante Deus não poderá dizer: mas outros me disseram para fazer isto” ou que: “a virtude não era conveniente no momento.” Não será suficiente. (Rei Balduíno IV de Jerusalém)

RESUMO

As câmaras frigoríficas atendem o setor comercial e industrial alimentício por armazenar e conservar os insumos, do mesmo modo que as indústrias farmacêuticas, automobilísticas e químicas utilizam as câmaras não exclusivamente para estocagem, mas também para transporte e fabricação. Sumariamente o sistema construtivo de câmaras frigoríficas em indústrias utiliza pisos industriais de concreto armado com quantidades de telas de aço e armaduras maiores quando comparadas à pisos convencionais, elevando o valor financeiro da construção. Outros métodos tornaram-se relevantes para comparação e estudo quanto às alternativas de composição estrutural dos pisos para aperfeiçoamento da matriz do concreto e viabilidade financeira. Com isso, esse trabalho visa analisar a viabilidade financeira de utilizar o concreto reforçado com fibras (CRF), de polipropileno e aço, como alternativa de reforço estrutural do concreto para uso em câmaras congeladas. Foram dimensionados e orçados três pisos industriais de concreto, reforçado com telas soldadas de aço e fibras de aço e polipropileno, realizado uma composição de itens necessários para a execução dos mesmos, utilizando parâmetros fixos de uma câmara congelada fictícia e verificou-se que os pisos de CRF apresentam maiores espessuras e valor financeiro menor em cerca de 20%.

Palavras-chave: Câmara congelada. Concreto com fibras. Piso industrial. Fibras de aço. Fibras de polipropileno.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Tipo de pisos quanto à fundação	18
Figura 2 – Estrutura de um piso industrial apoiado diretamente sobre o solo . .	19
Figura 3 – Classificação dos pisos industriais de diversos autores	20
Figura 4 – Exemplo de estrutura de um piso de concreto de câmaras frigoríficas, utilizando o contrapiso aquecedor	21
Figura 5 – Exemplo de estrutura de um piso de concreto de câmaras frigoríficas, utilizando concreto armado e isolamento de PU	22
Figura 6 – Organograma para classificação de fibras quanto a sua matéria prima e fabricação, incluindo alguns exemplos	24
Figura 7 – Matriz de concreto com fibras de aço misturadas de maneira aleatória e demonstrando a característica de micro-armadura	25
Figura 8 – Fluxograma de estruturação do estudo, a partir de parâmetros pré-estabelecidos do sistema da câmara congelada	29
Figura 9 – Sistema <i>drive-in</i> de porta-paletes - sistema de armazenagem industrial	32
Figura 10 – Detalhamento e resultados de armadura pelo <i>software</i> : Belgo Pavimentos v2.0	37
Figura 11 – Momento admissível da placa armada apoiada em meio elástico . .	38
Figura 12 – Gráfico da relação CBR (%) e coeficiente de recalque vertical k (MPa/m e kgf/cm ² /cm) em solos granulares de h=10 cm	39
Figura 13 – Empilhadeira pneumática Hyundai 35L-7SA	41
Figura 14 – Layout de pré-dimensionamento das juntas da câmara congelada, medidas do equipamento porta-palete, dimensões entre placas de concreto e distância entre corredores	42
Figura 15 – Gráfico de comparação quanto ao valor de orçamentos entre os pisos dimensionados	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Livros e manuais publicados sobrepisos industriais utilizado no trabalho e guiar projetos no Brasil	26
Tabela 2 – Valores de k_3 em função de k_6 , aço CA-60 e f_{ck}	34
Tabela 3 – Coeficientes de atrito usuais	35
Tabela 4 – Tabela de especificações necessárias para dimensionamento de cargas acidentais ou móveis	40
Tabela 5 – Tabela de especificações necessárias para dimensionamento de cargas pontuais de montantes	41
Tabela 6 – Tabela de composição de piso industrial para câmara congelada (apenas material)	43
Tabela 7 – Tabelas de orçamento - piso industrial para câmara congelada utilizando SINAPI 12/2022 (não desonerado) e pesquisa de mercado .	44
Tabela 7 – Tabelas de orçamento - piso industrial para câmara congelada utilizando SINAPI 12/2022 (não desonerado) e pesquisa de mercado .	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABESC	Associação brasileira das empresas de serviços de concretagem
ABNT	Associação brasileira de normas técnicas
ACI	<i>American concrete institute</i>
ASHRAE	<i>American society of heating, refrigerating and air-conditioning engineers</i>
CA	Concreto armado
CRF	Concreto reforçado com fibras
CRF-A	Concreto reforçado com fibras de aço
CRF-PP	Concreto reforçado com fibras de polipropileno
CS	<i>Concrete society</i>
EPS	Poliestireno expandido
IBRACON	Instituto de auditoria independente do Brasil
IBTS	Instituto brasileiro de telas soldadas
MEF	Método dos elementos finitos
NBR	Norma brasileira
PUR	Poliuretano
SINAPI	Sistema nacional de pesquisa de custos e índices da construção civil
TR	<i>Technical report</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAS	11
1.2	OBJETIVOS	12
1.2.1	Objetivo geral	12
1.2.2	Objetivos específicos	13
1.3	JUSTIFICATIVA	13
2	REVISÃO DA LITERATURA	14
2.1	REFRIGERAÇÃO E ARMAZENAGEM INDUSTRIAL	14
2.1.1	Câmaras congeladas	14
2.1.2	Características construtivas de câmaras congeladas	15
2.2	PISOS INDUSTRIAIS	16
2.2.1	Estruturas dos pisos industriais	17
2.2.2	Classificação dos pisos industriais	19
2.2.3	Pisos industriais em câmaras frigoríficas	21
2.3	CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS	23
2.3.1	Classificação das fibras	23
2.3.2	Comportamento de fibras incorporadas no concreto	24
2.3.3	Dimensionamento do CRF	25
2.3.4	CRF em pisos industriais	26
3	METODOLOGIA	28
3.1	DELINEAMENTO DA PESQUISA	28
4	DIMENSIONAMENTO DE PISO INDUSTRIAL	30
4.1	DIMENSIONAMENTO DE PISO DE CONCRETO ARMADO	30
4.1.1	Fórmulas de Meyerhof	31
4.1.2	Cargas móveis	31
4.1.3	Cargas pontuais	32
4.1.4	Armaduras (telas soldadas)	33
4.1.5	Verificação da punção	35
4.1.6	Esforços devido às variações volumétricas do concreto	36
4.2	CÁLCULO COM <i>SOFTWARE</i> : BELGO PAVIMENTOS V2	36
4.3	DIMENSIONAMENTO DE PISOS COM FIBRA	37
4.4	MATERIAIS ADOTADOS	38
4.4.1	Tipo de solo	38
4.4.2	Concreto	39

4.4.3	Aço	40
4.4.4	Fibras metálicas e sintéticas	40
4.5	EQUIPAMENTOS SELECIONADOS	40
5	ORÇAMENTO	43
6	CONCLUSÃO	47
	REFERÊNCIAS	48
	APÊNDICES	51
	APÊNDICE A – MEMORIAL DE CÁLCULO: PISO DE CONCRETO ARMADO	52
	APÊNDICE B – MEMORIAL DE CÁLCULO: PISO DE CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE AÇO	60
	APÊNDICE C – MEMORIAL DE CÁLCULO: PISO DE CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE POLIPROPILENO	62

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAS

Os pisos industriais distinguem-se dos pisos convencionais tendo em vista que os pisos comuns são executados sem critérios definidos, onde são realizados e executados de maneira empírica (RODRIGUES, 2019). De acordo com Rodrigues (2019) para os pisos industriais existem não somente critérios bem definidos, transcritos em projetos e memoriais documentados, como ainda são considerados a sua finalidade, ambiente e normas técnicas pertinentes para um desempenho previsto e mensurável.

Os pisos industriais no Brasil, desde a década de 90, apresentam avanço tecnológico em relação ao dimensionamento e execução de obras (CHODOUNSKY; VIECILLI, 2007). Isso se deve ao impulsionamento exigido pelo mercado da construção civil as quais respondem pelas necessidades das empresas de armazenagem e logística, incluindo a armazenagem frigorificada, de distribuição e produção bem como empreendimentos e pavimentações (RODRIGUES; BOTACINI; GASPARETTO, 2006).

Das tecnologias empregadas durante esses anos para produção de concreto pode-se citar a fibra de aço, a qual na década de 90 obteve um rápido desenvolvimento nos pisos industriais, graças à empresa Belgo Bekaert, utilizando a fibra para reforço estrutural do concreto empregando processos de cálculos modernos (modelos plásticos) (RODRIGUES, 2019). O autor Rodrigues (2019) ainda relata que inicialmente na metade dos anos 2000 o Instituto Brasileiro de Telas Soldadas (IBTS) desenvolveu critérios de cálculo inéditos para utilização de telas simples com reforço estrutural, chamado de *critério de tenacidade*, o qual não possuía conhecimento de modelos no exterior (RODRIGUES, 2019).

O Brasil se destacou como detentor de conceitos firmes em relação aos projetos de pisos industriais (RODRIGUES, 2010) e preservou os aspectos de execução, os quais sofreram aperfeiçoamentos devido aos equipamentos e adoção de ensaios superficiais (RODRIGUES, 2019). O desempenho e qualidade que um piso pode desempenhar é determinada por projeto, especificação de materiais e técnicas usadas em sua construção, considerando a sua inspeção e manutenção regular (CS, 2016).

Um dos ramos das indústrias que utilizam os pisos industriais são as empresas de armazenagem frigorífica (RODRIGUES; BOTACINI; GASPARETTO, 2006), as quais também pertencem a uma área da refrigeração (ROSA, 2000). Segundo Rosa (2000) a armazenagem de alimentos é uma das principais aplicações da refrigeração e armazenagem simultânea, devido às crescentes populações e suas necessidades de alimentos, bem como os produtos dependentes da estação do ano, os quais podem vir a ser distribuídos durante o ano todo.

As câmaras frigoríficas, definidas como grandes espaços físicos que armaze-

nam e conservam produtos com precisão de temperatura utilizam o sistema refrigeração industrial, podendo ser subdivididas em congeladas ou resfriadas, variando os valores de temperatura (CHAGAS, 2012). Através do manual apresentando por Chagas (2012), tais câmaras são indispensáveis em inúmeras indústrias por proporcionarem circulação de maquinários, pessoas e elevada capacidade de estocagem.

As câmaras congeladas estão presentes na refrigeração industrial, sendo caracterizadas por temperaturas entre $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ até $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ROSA, 2000), uma peculiaridade que permite uma classificação especial quanto dentre os pisos industriais (CHODOUNSKY; VIECILLI, 2007). Os autores Chodounsky e Viecilli (2007) destacam que durante a grande variação térmica, os pisos podem sofrer elevadas tensões de tração provenientes da retração das placas de concreto.

Uma das tecnologias já utilizadas nos pisos industriais é a substituição do concreto armado pelo concreto reforçado com fibras (CRF) (RODRIGUES, 2019). As fibras são elementos descontínuos obtidos por materiais como o aço, polímeros e vidro e atuam juntamente ao concreto sendo misturadas e lançadas em pavimentos, estruturas e revestimentos (FIGUEIREDO, 2011). Por possuírem propriedades de resistência mecânica e versatilidade as fibras reforçam o concreto evitando fissuras nas retrações e também são usadas como alternativa ao reforço de telas metálicas (LEITE, 2018).

Em relação ao concreto armado, o aço demanda muito tempo e faz parte de um trabalho intenso, proporcionando riscos de trabalho (esforço intenso devido ao peso e possibilidade de ferimentos com vergalhões), como além de estarem suscetíveis à corrosão quando expostas ao meio (WONG, 2017).

Dessa maneira, a utilização do CRF em estruturas de concreto que necessitem de reforço estrutural possuem inúmeras vantagens, como o aumento da tenacidade, redução da propagação de fissuras, diminuição dos custos de manutenção (diminuição do número de juntas) e de trabalho (sem a necessidade de montagem de armaduras), como aumento da produtividade e mão de obra menos custosa (WONG, 2017).

Ainda, Wong (2017) aponta que a corrosão, redução da pegada de carbono em até 70% e diminuição de retração e fissuração por temperatura, podem ser eliminadas quando as fibras utilizadas são sintéticas, uma desvantagem que permanece nas fibras metálicas e no concreto armado.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo do trabalho é verificar a viabilidade econômica do concreto reforçado com fibras em pisos estruturais de câmaras congeladas mantendo ou melhorando suas

propriedades quando utilizado telas soldadas de aço.

1.2.2 Objetivos específicos

- a. Definir características e parâmetros da câmara, estabelecendo sua funcionalidade, equipamentos e materiais utilizados;
- b. Selecionar tipos de fibras adequadas para dimensionamento de cada piso industrial para câmara congelada em Ponta Grossa/PR;
- c. Dimensionar o piso estrutural com fibras utilizando o manual NOVOS CRITÉRIOS PARA PAVIMENTOS INDUSTRIAIS DE CONCRETO ARMADO (RODRIGUES; FARIA; SILVA, 2015) e o piso estrutural de concreto armado NBR 6.118 (ABNT, 2014);
- d. Comparar o orçamento da composição construtiva de um piso estrutural com fibras e de concreto armado através da tabela do SINAPI.

1.3 JUSTIFICATIVA

A possibilidade da substituição do concreto armado com telas de aço pelo CRF se dá ou acontece pelo custo não só do material, mas como, da mão de obra e aperfeiçoamento de propriedades da matriz do concreto. Para a implementação do CRF em câmaras congeladas, o baixo valor de mercado das fibras, para pisos industriais de câmaras congeladas, é o pressuposto primário para analisar a viabilidade financeira. Os pisos utilizando fibras ainda podem vir a elevar a qualidade do piso, mas para efeito de estudo devem suportar a mesma função dos pisos de concreto armado.

Em câmaras congeladas, os pisos sofrem grandes variações térmicas e por isso suas fissurações devem ser rigidamente controladas com reduções gradativas de temperatura pelos equipamentos de refrigeração (ACI 302-1, 2015). Uma vantagem que as fibras sintéticas podem oferecer ao método construtivo por controlar essa retração.

Os autores GÜL *et al.* (2007) ainda demonstram que as fibras de polipropileno diminuem a condutividade térmica e o peso específico da estrutura, diminuindo carregamentos de peso próprio sem alterar a trabalhabilidade da mistura e complementam quanto ao isolamento. Investimentos com tal método construtivo podem trazer retorno financeiro e apresentarem uma boa solução para indústrias que optem por esse sistema de armazenagem e refrigeração.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo definirá conceitos e termos importantes para a compreensão total do trabalho. É apresentado uma breve introdução aos sistemas de refrigeração com prioridade quanto à refrigeração e armazenagem industrial. De maneira geral, serão tratados sobre instalações e projetos de câmaras frigoríferas com enfoque aos detalhes de execução de pisos industriais em tais ambientes.

Efetua-se uma definição de pisos industriais para esclarecer quanto a sua diferença de pisos convencionais. Aborda-se características especiais quanto ao uso e utilização de tecnologias, detalhamento construtivos e comparações de classificação, utilizando normas estrangeiras e livros especializados no assunto. Especificamente em câmaras frigoríficas, são citados aspectos executivos e de projeto, evidenciando distinções de pisos industriais comuns.

É apresentado também o histórico das fibras, a definição e utilidade para a compreensão e difusão desse tema. As principais aplicações da fibra são discutidas e relacionadas quanto a sua utilização em pisos industriais, incluindo câmaras frigoríficas.

2.1 REFRIGERAÇÃO E ARMAZENAGEM INDUSTRIAL

De acordo com *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) (2022)* a refrigeração é definida como o controle de temperatura de um espaço, substância ou sistema para diminuir ou manter a sua temperatura do ambiente e também é chamada de resfriamento artificial. Um dos ramos dos sistemas de refrigeração que se destaca é a refrigeração industrial, onde a temperatura de operação é de $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ para o limite inferior e $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ para o limite superior (ROSA, 2000). As aplicações que possuem temperaturas inferiores pertencem à área da criogenia (STOECKER; JABARDO, 2002).

Em suas aplicações, a refrigeração industrial se destaca nas indústrias químicas, de alimentos e processos, totalizando dois terços das aplicações (STOECKER; JABARDO, 2002). O armazenamento de produtos necessita de condições de refrigeração baseadas em suas características como o tempo de armazenagem e forma de acondicionamento (ROSA, 2000).

2.1.1 Câmaras congeladas

Câmaras congeladas fazem parte da classificação de câmaras frigoríficas e são espaços construídos usualmente para prolongar o período de estocagem de produtos (COSTA, 2021). A definição do termo congelada se deve à temperatura de operação, geralmente abaixo de $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, são controladas por um sistema de refrigeração

e possuem espaço para armazenagem e em alguns casos, a circulação de maquinários e pessoas (CHAGAS, 2012).

Os projetos apresentam disponibilidade totalmente adaptada às necessidades de cada cliente divergindo em tamanhos, natureza de utilização e condições de temperatura. No entanto, requerem materiais de boa qualidade compatíveis entre si, além de rígido controle de qualidade e mão de obra especializada (ROSA, 2000).

Para as câmaras que necessitam de grande energia para manter a temperatura muito baixa (-18 °C), os materiais utilizados devem possuir resistência térmica sendo apropriados para o uso. Os pisos de concreto estão suscetíveis à baixas temperaturas sendo fundamentais para a vida útil das câmaras frigoríficas bem como a qualidade de utilização da mesma (CHAGAS, 2012).

2.1.2 Características construtivas de câmaras congeladas

Segundo Chagas (2012, p. 3) “as características construtivas das câmaras frigoríficas influem diretamente na capacidade de refrigeração, ou seja, tem responsabilidade direta no aumento ou redução do consumo de energia elétrica da instalação”.

Dessa maneira, o método construtivo de uma câmara congelada possui grande influência quanto ao isolamento térmico, há uma relevância quanto à consideração entre os elementos estruturais e de vedação (CHAGAS, 2012).

De acordo com Chagas (2012) as câmaras congeladas industriais utilizam, principalmente, materiais de Espuma Rígida de Poliuretano (PUR) e Poliestireno Expandido (EPS) para vedação das paredes. Para fundações e elementos estruturais as definições dependem do projeto estrutural e laudo de sondagem do solo. Para a estrutura de pisos, são utilizadas pisos industriais de concreto.

No entanto, as câmaras apresentam obstáculos, tanto construtivos quanto de projeto. De acordo com Chagas (2012, p. 8) “qualquer espaço refrigerado torna-se uma fonte de vapor em virtude da diferença de pressões de vapor entre o ar externo e o ar interno da câmara”. Nesse caso há a necessidade de uma barreira de vapor para retardar a migração do vapor de água (LSTIBUREK, 2011).

Chodounsky e Viecilli (2007) definem o material para a barreira de vapor podendo ser uma fina camada de fluido ou plástico, películas de vedação e também proteção na forma de painéis pré-fabricados em formato de sanduíche ou folhas de plástico. Mesmo com a denominação de barreira de vapor, não são 100% eficientes para controlar a passagem de vapor e são comumente chamados retardadores de vapor nos Estados Unidos (LSTIBUREK, 2011).

A inspeção e manutenção das câmaras são, em geral, bastante onerosa, devido à necessidade de materiais compatíveis com a temperatura operacional, contudo se a câmara for desligada para reparos, haverá interdição, levando prejuízo logístico e de

mercadorias (CHODOUNSKY; VIECILLI, 2007). Os limites que as câmaras frigoríficas apresentam estão ligados aos métodos, materiais, equipamentos e modo de operação empregados (CHAGAS, 2012).

2.2 PISOS INDUSTRIAIS

Os pisos industriais podem ser chamados de pavimentos industriais e são elementos construtivos similares aos pavimentos rodoviários, no entanto, são empregados em áreas industriais, galpões logísticos, supermercados e entre outros empreendimentos (RODRIGUES, 2019). Segundo Rodrigues (2019), desde a década de 90 no Brasil, lacunas foram sendo preenchidas quanto aspectos teóricos, executivos e de projeto através de manuais e livros publicados especializados em pisos industriais, no entanto o Brasil ainda não apresenta normas técnicas construtivas e de projeto para pisos em geral.

Rodrigues (2019) afirma que os pisos industriais divergem dos pisos convencionais pelo seu nível de especificação e definição de critérios. Isso deve-se ao fato dos pisos industriais apresentarem projetos bem detalhados e memoriais documentados, não deixando de considerar a finalidade do piso, o seu ambiente a ser utilizado e normas técnicas pertinentes, mensurando o desempenho previsto (RODRIGUES, 2019).

Os pisos possuem a função de resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos pelo carregamento, proporcionam perfeito rolamento, quanto ao conforto, limpeza e segurança das cargas móveis (prateleiras e empilhadeiras) (CHODOUNSKY; VIECILLI, 2007). Segundo os autores Chodounsky e Viecilli (2007), os pisos resistem também aos esforços mecânicos como a compressão, flexão, impacto e abrasão sem considerar ataques químicos ou biológicos.

Para a recomendação técnica europeia TR34 (CS, 2016) os requisitos incluídos nos pisos industriais são:

- a. O piso deve se manter durável, assumindo sua manutenção e sem mau uso ou sobrecargas;
- b. O piso deve ter capacidade para suportar as cargas pontuais, carregamentos distribuídos e cargas dinâmicas exigidas sem deflexões inaceitáveis, fissuras, recalque ou dano às juntas;
- c. O *layout* de juntas deve considerar a localização de estantes verticais e pilares de mezaninos;
- d. As juntas devem ser resistentes quando construídas;
- e. As juntas e reforços devem estar detalhados para minimizar riscos de fissuração;

- f. A superfície do piso deve estar adequadamente regularizada;
- g. A superfície do piso deve possuir resistência adequada quanto à abrasão superficial, contato com produtos químicos e quanto a deslizamentos;
- h. O piso deve apresentar o acabamento superficial exigido.

Utilizando a norma americana ACI 302.1R-15 (ACI 302-1, 2015) os pisos industriais estão classificados na categoria 5, 6, 7 e 8 de pisos de concreto, utilizando o concreto monolítico¹ para os pisos de classificação 5 e 6.

As características das classes se devem ao carregamento de veículos, finalidades, modos de utilização e tratamento de juntas, cura, resistência a abrasão e acabamento superficial e considerações especiais (ACI 302-1, 2015).

São separados ao todo em pisos industriais (5) com baixas cargas de veículos e acabamento superficial de pás metálicas; pisos industriais pesados (6) com cargas de veículos mais solicitadas, sendo obrigatório a utilização de equipamentos para transferência de carga e utilização de endurecedores de superfície. Pisos industriais pesados com cobertura (7) onde há utilização de agregados específicos para acabamento e aditivos para melhorar tenacidade devido à tráfego de veículos intensos. Pisos industriais com cobertura (8) que apresentam uma camada de argamassa formando uma superfície de acabamento utilizando um material denominado *bond breaker*² nas camadas do piso base.

2.2.1 Estruturas dos pisos industriais

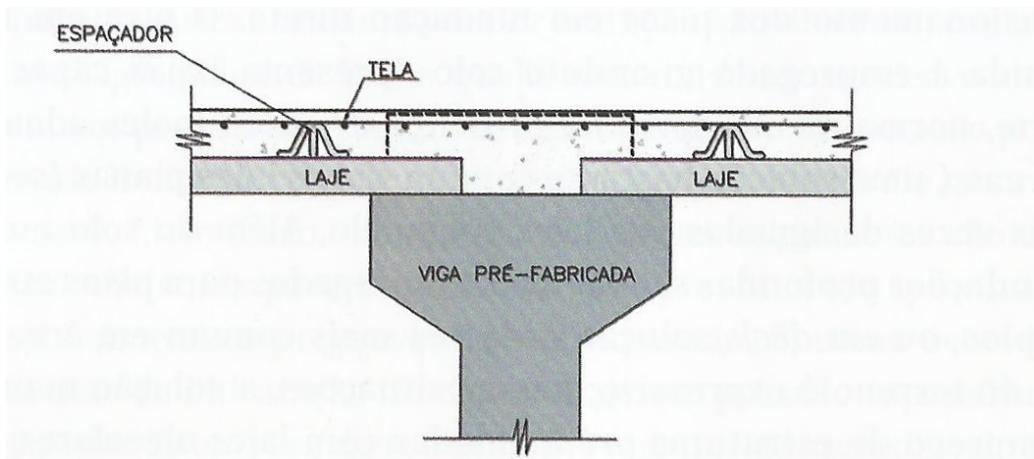
Para entender a estrutura dos pisos industriais, um primeiro segmento entre os pisos é definido utilizando o tipo de fundação. Rodrigues (2019) cita dois tipos: fundação direta ou profunda, as quais se diferenciam pela qualidade do solo. Os pisos apoiados diretamente sobre o solo recebem a denominação de fundação direta e quanto aos que possuem baixa capacidade de suporte do solo, são apoiados, geralmente, em lajes planas e recebem o nome de fundação profunda. As diferenças podem ser vistas na Figura 1.

¹ O concreto monolítico é um termo apresentado pela ACI e definido através da terminologia apresentada pelo instituto como concreto sem a presença de juntas exceto as de construção (ACI, 2021, p. 43).

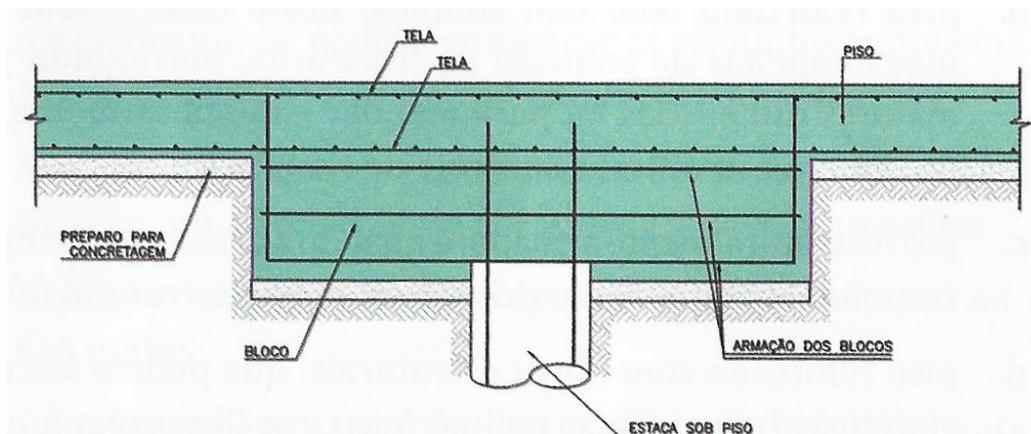
² Material utilizado para prevenir adesão do concreto recém adicionado ao substrato

Figura 1 – Tipo de pisos quanto à fundação

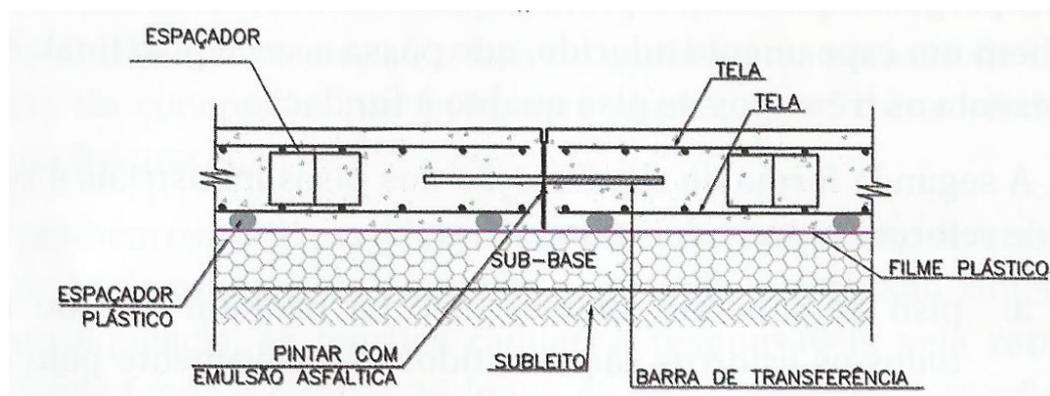
(a) Piso com fundação profunda de estruturas pré-moldadas e lajes alveolares



(b) Piso com fundação profunda, utilizando blocos e estacas



(c) Piso com fundação direta, apoiado sobre o solo

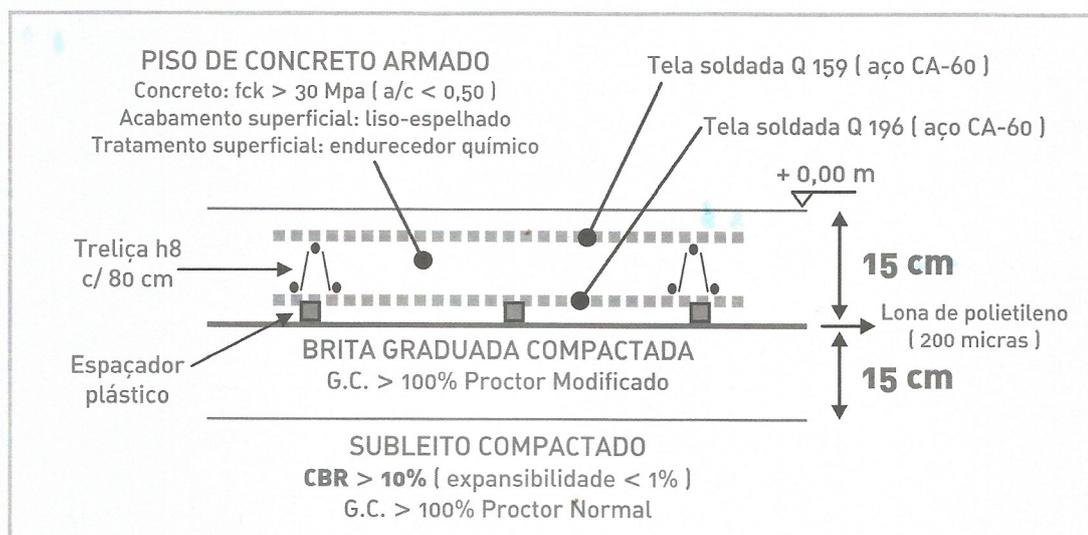


Fonte: Adaptado de Rodrigues (2019, p. 13)

Os pisos de concreto de fundação direta foram escolhidos no Capítulo 3 e apresentam mais abordagem dentre os estudos de livros e monografias. Sendo assim, os pisos apoiados sobre o solo possuem uma estrutura de camadas apresentadas na lista abaixo (CHODOUNSKY; VIECILLI, 2007) e na Figura 2.

- a. Subleito;
- b. Regularização do subleito;
- c. Reforço do subleito;
- d. Sub-base;
- e. Barreira de vapor;
- f. Camada deslizante;
- g. Placa de concreto;
- h. Revestimento.

Figura 2 – Estrutura de um piso industrial apoiado diretamente sobre o solo



Fonte: (CHODOUNSKY; VIECILLI, 2007, p. 23)

2.2.2 Classificação dos pisos industriais

Assim como os pisos industriais estão classificados diferente de outros tipos de pisos, existe ainda uma classificação interna atrelada à sua função e estrutura. Para os autores Chodounsky e Viecilli (2007) e Rodrigues (2019), os pisos industriais são divididos entre pisos de concreto simples, pisos de concreto reforçados para controle

de fissuração, pisos de concreto estruturalmente armado, pisos de concreto reforçado com fibras estruturais e pisos protendidos.

Utilizando essa classificação proposta por Chodounsky e Viecilli (2007) e Rodrigues (2019) quanto ao reforço estrutural, os pisos de concreto simples não possuem reforço estrutural, sendo as cargas solicitadas resistidas apenas pelo concreto. Para os pisos estruturalmente armado são empregados, geralmente, telas de aço soldadas, possuindo armadura positiva além da armadura distribuída e oferecem possibilidades no campo *jointless* (RODRIGUES; BOTACINI; GASPARETTO, 2006).

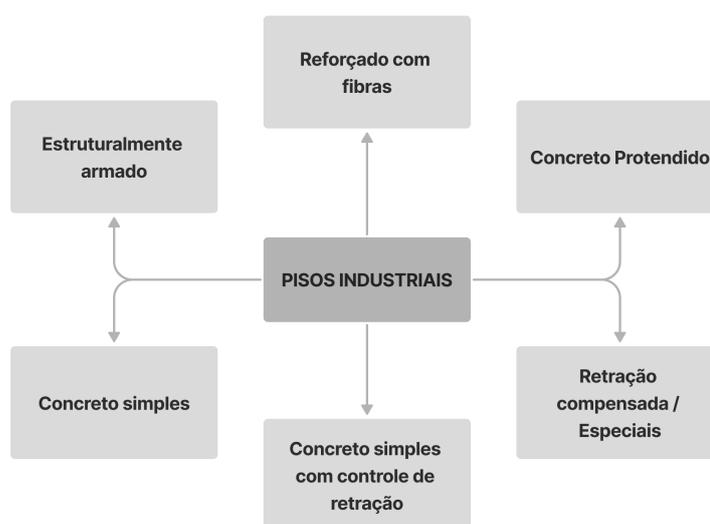
Os pisos de concreto reforçado com controle de fissuração, utilizam pequenas quantidades de fibras ou baixas quantidades de aço (taxas de armaduras inferiores à 0,05% em relação à seção transversal), apenas para manutenção de fissuras na retração (CHODOUNSKY; VIECILLI, 2007).

A classificação para pisos de concreto reforçado com fibras estruturais são para controle de retração (RODRIGUES, 2019), e empregados como reforço estrutural sem a necessidade de reforços com armadura (SARZALEJO *et al.*, 2009).

A utilização de sistemas de protensão em pisos, deu a origem aos pisos protendidos, necessitando de um menor número de juntas com armaduras de alta resistência tracionadas por macacos hidráulicos, sendo as forças transferidas através das ancoragens posicionadas nas extremidades (CHODOUNSKY; VIECILLI, 2007).

De maneira complementar, Rodrigues (2019) acrescenta os pisos de concreto de retração compensada utilizando os concretos especiais, já os autores Chodounsky e Viecilli (2007) denominam alguns tipos de pisos especiais como de câmaras frias, *overlays* e pisos decorativos. De acordo autores citados a Figura 3 resume a classificação dos pisos industriais.

Figura 3 – Classificação dos pisos industriais de diversos autores



2.2.3 Pisos industriais em câmaras frigoríficas

Os pisos de câmaras frigoríficas constituem uma particularidade dentre as classificações de pisos, por trabalhar em condições adversas em relação a temperatura e apresentam detalhes específicos de projeto e construção (CHODOUNSKY; VIECILLI, 2007).

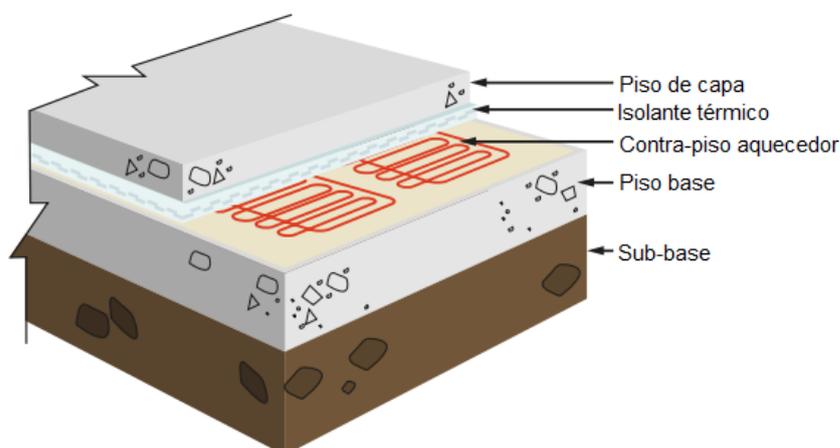
As temperaturas de operação em câmaras vão definir a qualidade do sistema de refrigeração e armazenagem (ROSA, 2000), dessa maneira o isolamento térmico do piso é considerado através de placas isolantes sob o piso industrial, normalmente constituídas de PUR ou EPS (CHODOUNSKY; VIECILLI, 2007), a adição da placa pode ser visualizada nas Figura 5 e Figura 4.

Esses materiais podem apresentar grande rigidez e resistência relacionados diretamente à sua densidade (CHODOUNSKY; VIECILLI, 2007). Chodounsky e Viecilli (2007) detalham que em execuções de sistemas refrigerados o tipo de isolamento térmico são priorizados em relação a rigidez do material, o que pode acarretar em materiais de baixa densidade e resistência, os quais não serão compatíveis com a carga e deformações atuantes.

Através da TR 34 (CS, 2016), os pisos de estabelecimentos refrigerados, além de receber isolantes térmicos sob o piso necessitam de contrapiso aquecedor (*heater mat-screed*) e piso de capa para evitar a ascensão do congelamento da água. A estrutura do piso detalhado pela recomendação TR 34 (2016) é visto na Figura 4.

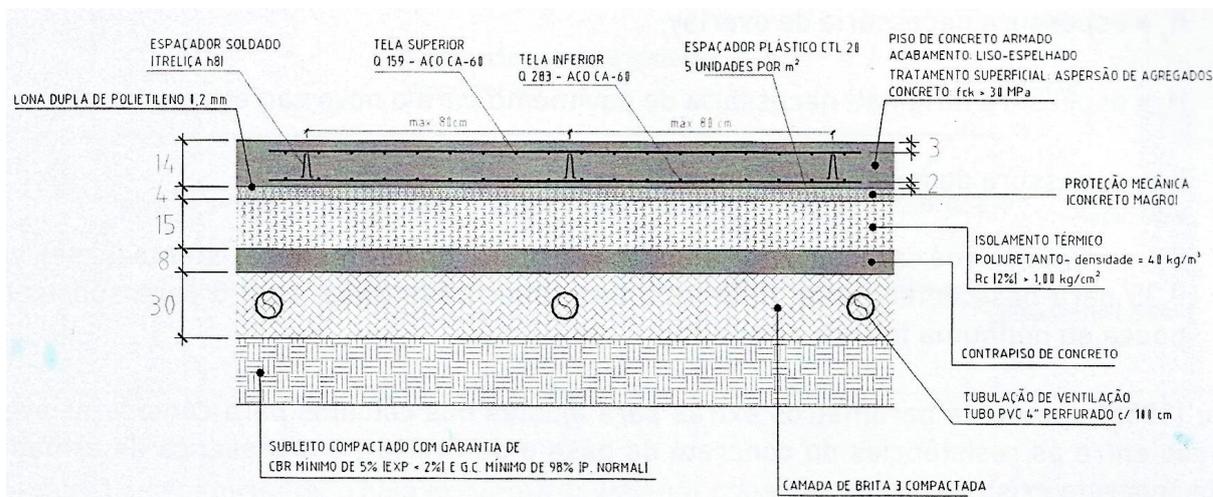
Outra estratégia para contornar esse problema é a tubulação de ventilação, utilizando PVC perfurado na camada de brita do piso como visto na Figura 5, evitando a ascensão do gelo ao piso.

Figura 4 – Exemplo de estrutura de um piso de concreto de câmaras frigoríficas, utilizando o contrapiso aquecedor



Fonte: Adaptado de TR 34 (CS, 2016)

Figura 5 – Exemplo de estrutura de um piso de concreto de câmaras frigoríficas, utilizando concreto armado e isolamento de PU



Fonte: (CHODOUNSKY; VIECILLI, 2007, p. 339)

Na diferença de dosagem, Chodounsky e Viecilli (2007) comentam sobre o uso de incorporadores de ar na mistura do concreto em câmaras que sofreram grande números de ciclos de gelo e degelo, tornando a durabilidade da estrutura maior. Em contrapartida, os incorporadores de ar, quanto mais utilizados são mais prejudiciais aos pisos que necessitem de acabamento desempenado (CHODOUNSKY; VIECILLI, 2007).

Quanto às juntas de pisos industriais à baixas temperaturas, o seu tratamento deve ser realizados nas condições da câmara ligada e resistir às temperaturas e solicitações sujeitas (CHODOUNSKY; VIECILLI, 2007). Com isso a manutenção prematura da estrutura executada pode ser evitada, impedindo interdições do ambiente.

De acordo com Groszewicz (2014) o concreto possui natureza porosa e logo implicam em absorver líquidos para o interior, podendo acumular água que ao congelar tem um incremento de volume gerando tensões no concreto e quando é ultrapassada a resistência desse concreto tem-se a formação de fissuras, deslocamento e até possivelmente rompimento do piso estrutural.

Para evitar que o concreto fissure, as câmaras devem ser ligadas de maneira gradual após o concreto estar completamente curado, cada recomendação técnica apresenta os tempos necessários para a diminuição gradual da temperatura a cada dia. De acordo com Chodounsky e Viecilli (2007) as temperaturas devem ser diminuídas 5,6 °C por dia.

2.3 CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS

O concreto é conhecido por ser um material de baixa resistência à tração, conseqüentemente a utilização de reforços são necessários para compensar essa deficiência (NAWY, 2008). O aço durante muito tempo foi utilizado como reforço em estruturas que sofressem com essas tensões, mas apesar de sua eficácia, apresenta desvantagens - custoso para transportar, armazenar e trabalhar - que ocasionaram a busca por tecnologias que suprissem suas desvantagens (WONG, 2017).

Em certos elementos estruturais, a armadura de aço pode ser substituída pela incorporação de fibras na matriz do concreto (CHODOUNSKY; VIECILLI, 2007). Tais elementos acrescentados à mistura são formados de diversos materiais, como o aço e polipropileno (FIGUEIREDO, 2011). A utilização de fibras e materiais fibrilosos na matriz do concreto são de origem antiga que se perdem no tempo, já sendo utilizada antes do século XIX com fibras de asbesto, considerada a primeira alternativa moderna dando início à fibra de aço (WONG, 2017).

As fibras são materiais segmentados - elementos descontínuos - onde o comprimento é significativamente maior que sua seção transversal (FIGUEIREDO, 2011) e, com adequada resistência mecânica a tração (SARZALEJO *et al.*, 2009). De acordo com Chodounsky e Viecilli (2007) as fibras são responsáveis por controlar fissurações no concreto, apresentando possibilidades de reforço estrutural e substituição de armadura. Elas atuam como pontes de transferência de tensões quando as fissuras no concreto acontecem, dificultando sua propagação (LEITE, 2018).

Também podem ser substituídas como função estrutural em peças que tenham a possibilidade de redistribuir os esforços como as lajes apoiadas em meio elástico, ou seja, pisos, radiers e pavimentos rígidos além de alterar o comportamento do concreto para dúctil³ ao invés de frágil (CHODOUNSKY; VIECILLI, 2007).

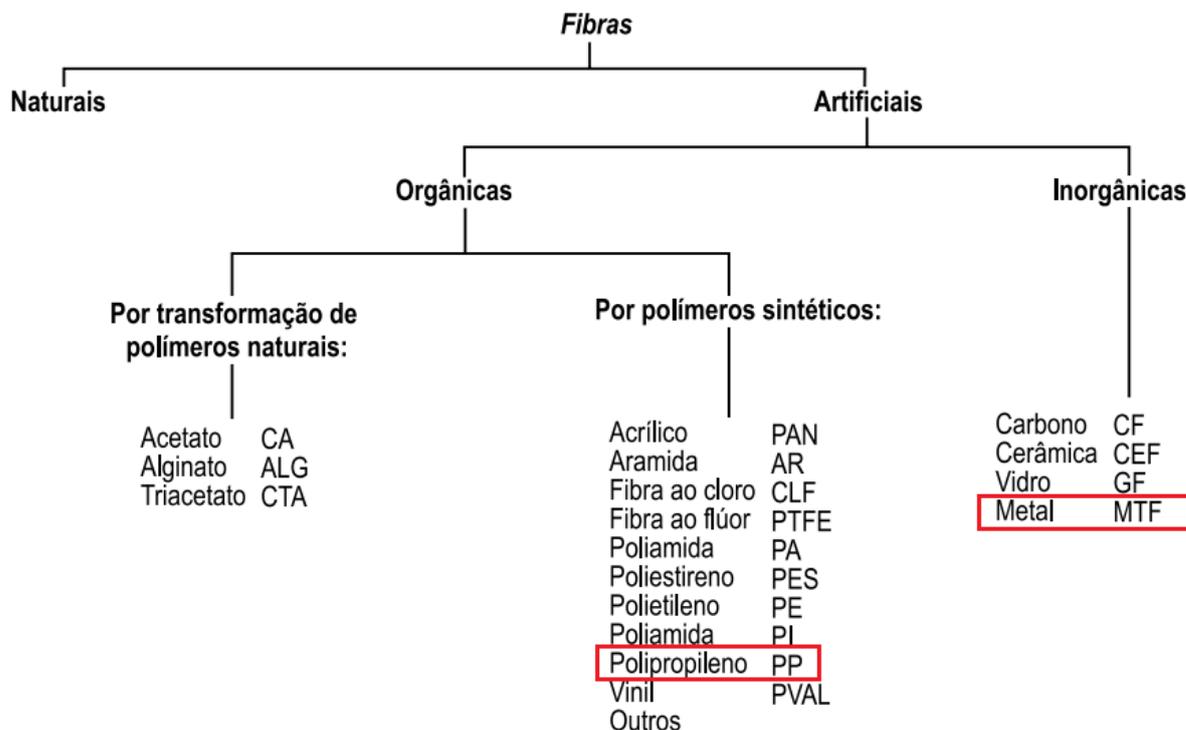
2.3.1 Classificação das fibras

As fibras podem ser classificadas em função da sua matéria prima, divididas em artificiais ou naturais, destas pode-se citar o amianto (asbesto), celulose e carbono (SARZALEJO *et al.*, 2009). Segundo Sarzalejo *et al.* (2009) as fibras sintéticas separam-se em orgânicas (polímeros naturais e sintéticos) e inorgânicas (fibras metálicas), cada uma delas apresenta subdivisões quanto às suas características geométricas, físicas, químicas, mecânicas e de processo de produção.

³ "Ductilidade é a capacidade de um material poder suportar deformações conservando sua resistência." (SARZALEJO *et al.*, 2009, p. 09)

Para uma melhor visualização, a Figura 6 do BISFA⁴ apresenta um fluxograma quanto à divisão das fibras e destacando as fibras selecionadas para o desenvolvimento do trabalho.

Figura 6 – Organograma para classificação de fibras quanto a sua matéria prima e fabricação, incluindo alguns exemplos



* O polietileno e o polipropileno são poliolefinas

Fonte: (SARZALEJO *et al.*, 2009, p. 14)

2.3.2 Comportamento de fibras incorporadas no concreto

A fissuração natural e interna do concreto é responsável pela sua resistência à tração ser insignificante (SINGH, 2018). Com a adição das fibras na mistura de concreto de maneira homogênea, uma micro-armadura é organizada dentro do elemento estrutural, como visto na Figura 7, combatendo de maneira eficiente as fissuras em caso de retrações (SARZALEJO *et al.*, 2009). O autor Singh (2018) ainda cita mais propriedades que apresentaram melhor desempenho pela incorporação das fibras, como a resistência à fadiga, impactos e carregamentos com curta duração de tempo.

⁴ THE INTERNATIONAL BUREAU FOR THE STANDARDISATION OF MAN-MADE FIBRES

Figura 7 – Matriz de concreto com fibras de aço misturadas de maneira aleatória e demonstrando a característica de micro-armadura



Fonte: (SINGH, 2018, p. 21)

O concreto reforçado com fibra possui diferenças quanto aos seus ensaios de resistência, não sendo realizado a tração direta devido à dificuldades operativas, sendo assim realizada o ensaio de flexão sobre vigas ou placas (SARZALEJO *et al.*, 2009). Sarzalejo *et al.* (2009) cita que o ensaio de flexão determina em laboratório a tenacidade que as fibras proporcionam para o elemento estrutural.

A tenacidade é uma característica de materiais dúcteis e é definido por Sarzalejo *et al.* (2009, p. 09) como “a capacidade de um material se oimage.pngpor a propagação das fissuras dissipando energia de deformação”.

É importante ressaltar que a adição de fibras no concreto não muda o comportamento da estrutura se não houver fissurações, dessa maneira as pontes de transferência não são ativadas (ACI544.4R-18, 2018). Depois da fissuração, a ACI 544.4R aponta que as pontes geradas pelas fibras começam a carregar as tensões de tração dando suporte e capacidade à estrutura de CRF, isso é referido usualmente por resistência residual que são utilizadas como parâmetros de projetos.

2.3.3 Dimensionamento do CRF

O projeto de estruturas de concreto reforçado com fibras recebeu a primeira edição da norma em 2021, a ABNT NBR 16.935, antes disso normas estrangeiras como a ACI 544.4R-88 e CS TR 63 serviam como base de referência para o dimensionamento.

Publicações de livros e manuais brasileiros foram publicados, onde compilaram informações tanto da ACI e da CS para auxiliar e guiar projetos no Brasil, sendo listados na Tabela 1.

Tabela 1 – Livros e manuais publicados sobre pisos industriais utilizado no trabalho e guiar projetos no Brasil

Título do livro	Autores	Ano de publicação
Pisos Industriais de concreto: aspectos teóricos e executivos.	CHODOUNSKY, M. A.; VIECILLI, F. A.	2007
Manual de Pisos Industriais: Fibras de aço e protendido.	RODRIGUES, P. P. F.	2010
Pisos Industriais: com concreto de retração compensada.	RODRIGUES, P. P. F.	2019
Manual Gerdau de Pisos Industriais.	RODRIGUES, P. P. F.; BOTACINI, S. M.; GASPARETTO, W. E	2006
NOVOS CRITÉRIOS PARA PAVIMENTOS INDUSTRIAIS DE CONCRETO ARMADO.	RODRIGUES, P. P. F.; FARIA, B. M.; SILVA, J. B. R. da.	2015
Dimensionamento de Pavimentos de Concreto Estruturalmente Armados.	RODRIGUES, P. P. F.; PITTA, M. R.	1999

Fonte: O autor (2023)

Através dos ensaios das NBR 16.939 (ABNT, 2021b) (ensaio de duplo punção) e 16.940 (ABNT, 2021c) (ensaio de tração na flexão), as propriedades de resistências residuais (tenacidade) e resistência de trações na flexão estão descritas para ensaios avaliativos para projetos de CRF.

A ABNT NBR 6118 serve como referência de projetos e por se tratar de uma vertente industrial regularmente em crescimento, a utilização de livros e manuais adaptados, como mencionado no parágrafo anterior, também são utilizados.

Não obstante, o controle de qualidade do CRF é muito importante para controlar o desempenho do material e a execução adequada da mistura, evitando aglomeração de fibras e processos que prejudiquem etapas de concretagem (CRISTELLI, 2010). Desde 2021, existe a NBR 16.938 ((ABNT, 2021a)) a qual possui essa finalidade do controle de qualidade dos CRF moldados no local, pré-moldados e projetados.

2.3.4 CRF em pisos industriais

Como já apresentado nos itens anteriores, a utilização de fibra evidencia maior resistência à fissuração, impacto e desgaste, além de possuir maior ductilidade. Esses motivos harmonizam quanto à necessidade dos pisos industriais em receber tais esforços (SARZALEJO *et al.*, 2009).

Segundo Wong (2017) o concreto de pisos industriais apresenta fissurações devido ao comportamento frágil do concreto, reduzindo a eficiência da passivação

de armaduras e a película de carbonatação pode diminuir a vida útil da estrutura de concreto armado. O concreto reforçado com fibras de aço possibilita a execução de pisos com mais esbeltez em relação aos de concreto simples e permitem aumentar a distância entre as juntas (CHODOUNSKY; VIECILLI, 2007).

Outro sistema caracterizado pela CS TR 34 é a utilização de fibras de aço em pisos *jointless*, onde não apresentam a necessidade de juntas secundárias, diminuindo custos com manutenção e aumentam a vida útil do piso. No entanto, a normativa técnica, acrescenta que devem ser tomados cuidados, pois as fissuras no concreto podem ultrapassar o esperado, perdendo funcionalidade estrutural (CS, 2016).

Rodrigues (2019) afirma que os maiores problemas em pisos industriais são de origem química, promovidos por retração da concreto. Em considerações aos aspectos apresentados, o autor Rodrigues (2019), comenta sobre o uso de aditivos para controle da retração que controlam fissurações, reduzem o empenamento e juntas, como também as deixam com menor espessura (RODRIGUES, 2019). No entanto a utilização de fibras para tais concretos ainda é algo novo a ser explorado, com poucas pesquisas no assunto (RODRIGUES, 2019).

3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada nesse trabalho foi de estabelecer dimensões e parâmetros de uma câmara congelada fictícia para orçar e analisar os três tipos de pisos dimensionados.

A câmara tem funcionalidade de refrigerar produtos em temperatura de -15°C , logo apresentam estrutura detalhada na subseção 2.2.3, e possui dimensões de 10,0 x 18,0 metros com tráfico de empilhadeiras, e sistema porta-palete de armazenagem. Para informações e especificações de equipamentos a seção 4.5 discorre sobre os principais pontos necessários para o dimensionamento.

O solo com função de sub-leito foi determinado para facilitar os cálculos e dar ênfase ao tipo de piso mais comum: os pisos de fundação direta, deixando de lado questões de recalque do solo e outros tipos de fundação. Já para o solo com função de sub-base imaginou-se a utilização de sub-bases granulares por apresentar menor custo de operação, disponibilidade de mercado e uma parcela maior de utilização. Além disso não foi considerado revestimento superficial para o piso acabado.

3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA

Os pisos foram separados em piso de concreto armado, piso de CRF de poliméricos e piso de CRF de aço. Tais fibras foram escolhidas por serem as mais comuns fabricadas na região de Ponta Grossa/PR e por apresentarem mais bibliografia tornando a análise de resultados mais precisa.

Para iniciar o dimensionamento, cada item na composição de um piso industrial é registrado em memorial descritivo de todos os equipamentos considerados nas câmaras congeladas no Capítulo 4, além das cargas para cálculo de esforços solicitantes.

Após as informações coletadas o dimensionamento por cada tipo de concreto foi realizado. Os memoriais podem ser observados para cada um dos pisos dimensionados no Apêndice A, Apêndice B e Apêndice C. Não houve necessidade de aditivos para qualquer um dos pisos, e a diferença permaneceu no sistema construtivo, removendo itens para separação de telas, ferragens e substituindo apenas pela fibra na composição do piso com CRF.

As fibras foram orçadas tanto pela tabela do SINAPI (não desonerado) quanto por pesquisa de mercado na região de Ponta Grossa, não apresentando BDI. Para efeito de facilidade comparativa, uma tabela e gráfico de valor final de cada piso foi apresentada no Capítulo 5 do trabalho.

A lista da síntese das etapas do trabalho é apresentada na lista abaixo.

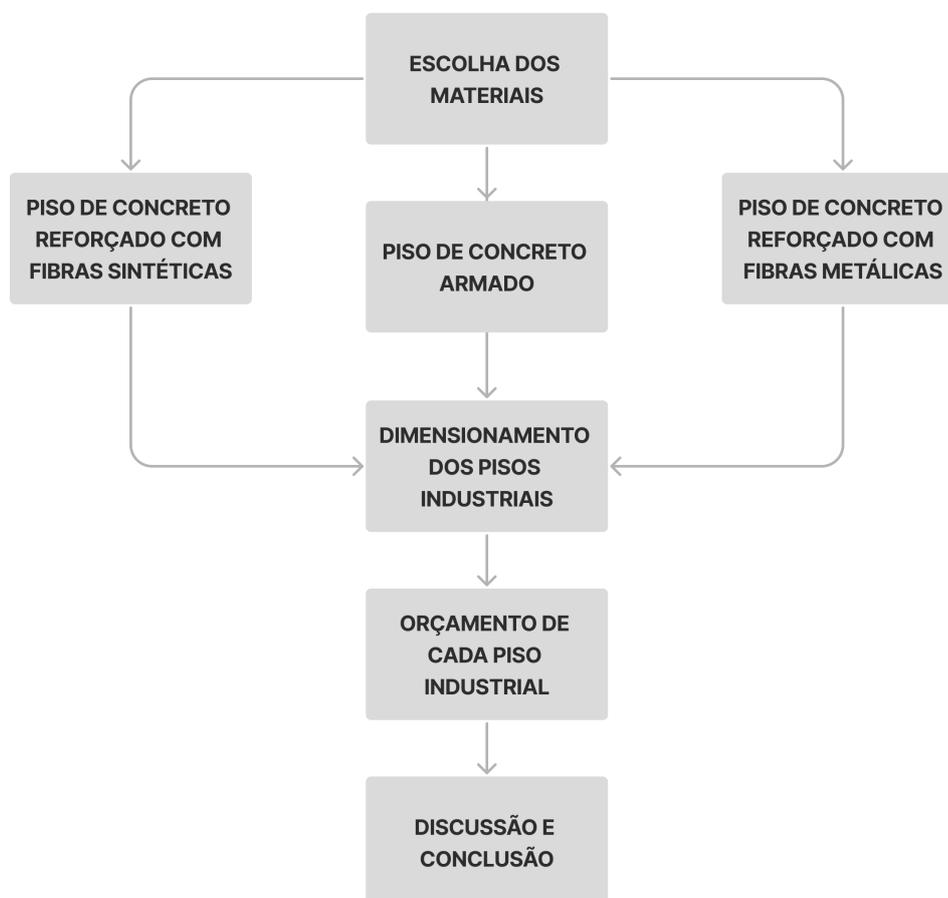
- a. Estabelecer a funcionalidade, equipamentos e produtos nos sistema de refrigera-

ção o qual vai ser simulado;

- b. Registrar em memorial de cálculo as cargas, equipamentos e condições consideradas para dimensionamento;
- c. Utilizar fibras para concreto na região de Ponta Grossa e proximidades, selecioná-la com base em especificações e recomendações propostas pelo fornecedor.
- d. Dimensionar as estruturas tanto de pisos de concreto armado quanto pisos de CRF;
- e. Registrar em memorial tabela os materiais necessários para a execução do piso;
- f. Orçamento em tabela através de pesquisa de mercado e por meio do SINAPI;
- g. Registrar em tabela a comparação de preço final de cada piso.

Para uma melhor visualização do delineamento da pesquisa a Figura 8 mostra um fluxograma da metodologia do trabalho.

Figura 8 – Fluxograma de estruturação do estudo, a partir de parâmetros pré-estabelecidos do sistema da câmara congelada



4 DIMENSIONAMENTO DE PISO INDUSTRIAL

Este capítulo utiliza das informações estabelecidas na revisão bibliográfica para definir explicitamente os critérios utilizados no dimensionamento dos pisos. Características da sub-base, do concreto e tanto de fibras como do aço são descritos para que o orçamento seja comparado conforme cada dimensionamento.

Não serão tratadas nesse capítulo sobre tensões de empenamento, tensões volumétricas do concreto, dimensionamento de juntas e barras de transferência. Isso se deve para facilitar o objetivo do trabalho e não estender em assuntos que focam mais na execução dos pisos industriais. Sendo assim, é priorizado o dimensionamento necessário que resulta na espessura do pavimento e na especificação de telas soldadas - ou quantidade de fibras - para analisar a viabilidade financeira.

De maneira inicial é apresentado as etapas de dimensionamento para cada piso, através do manual publicado por Rodrigues, Faria e Silva (2015) e após isso é designado os materiais utilizados. Todos os dimensionamentos realizados estão presentes nos apêndices do trabalho.

4.1 DIMENSIONAMENTO DE PISO DE CONCRETO ARMADO

O dimensionamento do piso industrial de concreto armado utiliza do material de Rodrigues, Faria e Silva (2015) como método de dimensionamento, faz uso das normas brasileiras NBR 6.118 (ABNT, 2014), NBR 6.120 (ABNT, 1980), NBR 6.122 (ABNT, 1996) e também de recomendações técnicas como a TR 34 (CS, 2016).

Além disso os métodos utilizados por esse manual são baseados nos estudos europeus de Meyerhof (MEYERHOF, 1962) e Lösberg (LÖSBERG, 1962), em contraponto aos estudos americanos de Westgaard (WESTERGAARD, 1927), Pickett & Ray (PICKETT; K., 1950) e Packard (PACKARD, 1976), contribuindo mais no âmbito de pavimentos industriais (RODRIGUES; FARIA; SILVA, 2015).

Outro método utilizado para dimensionar placas apoiadas em meio elástico é o Método dos elementos finitos (MEF) o qual pode ser muito útil quando a situação não for usual com diversos tipos de carregamentos e permite avaliar tensões de retração e variações térmicas (RODRIGUES; FARIA; SILVA, 2015). Ainda Rodrigues, Faria e Silva (2015) citam que o MEF utiliza de metodologia em meio elástico assemelhando-se ao trabalhos de Westgaard para pavimentos rodoviários, sendo uma desvantagem aos métodos da escola europeia.

Dessa maneira para dimensionamento do trabalho serão utilizados os métodos europeus exemplificados nas subseções seguintes.

4.1.1 Fórmulas de Meyerhof

As fórmulas de Meyerhof apresentam facilidade na sua utilização e possuem boa precisão, além de serem padrão para países como a Inglaterra empregadas em normativas de cálculo da *Concrete Society* (RODRIGUES; FARIA; SILVA, 2015) e são apresentadas nas equações (4.1), (4.2) e (4.3). O primeiro passo antes da utilização das fórmulas de Meyerhof é calcular o raio de rigidez (l) o qual pode ser entendido por uma círculo de influência onde os carregamentos irão promover alterações e pode ser exemplificada pela equação (4.4).

$$M_{centro} = \frac{P_r}{6(1 + \frac{2a}{l})} \quad (4.1)$$

$$M_{bordalivre} = \frac{P_r}{3.5(1 + \frac{3a}{l})} \quad (4.2)$$

$$M_{canto} = \frac{P_r}{2(1 + \frac{4a}{l})} \quad (4.3)$$

Sendo a o raio da área carregada que será compreendida nas próximas subseções e P_r o valor da força atuante dependendo de cada equipamento (definidos na seção 4.5).

$$l = \left(\frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (12 - \nu^2) \cdot k} \right) \quad (4.4)$$

Sendo E o módulo de elasticidade do concreto (subseção 4.4.2), h a espessura da placa, ν o coeficiente de poisson e k o coeficiente de recalque (subseção 4.4.1). A espessura da placa é comumente arbitrada e calculada para mitigar o uso de armaduras. Caso o piso não suporte os carregamentos de projeto ou exija uma quantidade maior de área de aço que o usual, deve-se aumentar essa espessura.

4.1.2 Cargas móveis

Chodounsky e Viecilli (2007) citam os principais tipos de cargas móveis que circulam em pisos industriais, como empilhadeiras, transpaleteiras e carretas e no caso de uma câmara frigorífica é comum a utilização de empilhadeiras para transporte e manuseio dos produtos armazenados em estanteiras. Tais veículos podem ter rodagem simples, dupla e entre outras (CHODOUNSKY; VIECILLI, 2007).

Usualmente as empilhadeiras possuem rodas equipadas com pneumáticos com pressão de enchimento conhecida, podendo também em outros casos possuírem rodas do tipo rígida. Em situações de projeto é definido a pressão de enchimento (q) equivalente à 1,75 MPa (RODRIGUES; FARIA; SILVA, 2015), para cálculos com mais

precisão é recomendado exigir essa informação dos fornecedores desses veículos, já que não é comum apresentarem na ficha técnica de seus equipamentos.

Para critérios de dimensionamento é necessário conhecer os seguintes parâmetros: carga do eixo mais carregado (P_r) como o peso de operação máximo que a empilhadeira ou veículo possui, dividido pelo número de eixos (situação mais crítica) (RODRIGUES; FARIA; SILVA, 2015); tipo de rodagem (simples ou tandem); distância entre rodas (s); pressão de enchimento dos pneus (q) ou raio da área de contato (a) e o coeficiente de recalque da fundação (k).

Caso a área de contato não seja fornecida, é possível calcular através da equação (4.5). Após agrupar essas informações o dimensionamento se torna simples aplicando-se coeficientes de minoração de resistência e majoração de carregamentos e imediatamente as fórmulas de Meyerhof.

$$A_c = \frac{P_r}{q} \quad (4.5a)$$

$$a = \sqrt{\frac{A_c}{\pi}} \quad (4.5b)$$

4.1.3 Cargas pontuais

As cargas pontuais são definidas por Rodrigues (2019) como cargas providas de equipamentos fixos no chão, ou mais comumente de prateleiras de sistema *drive-in*, ilustrado na Figura 9, tais equipamentos podem variar de 4 a 10 toneladas por apoio e altura dentre 8 a 14 metros (CHODOUNSKY; VIECILLI, 2007).

Figura 9 – Sistema *drive-in* de porta-paletes - sistema de armazenagem industrial



Os carregamentos atuam mais criticamente na face inferior da placa (momento positivo) e quando os espaçamentos dos apoios do sistema de armazenagem são pequenos (dentre 20 a 30 cm (RODRIGUES, 2019)) podem gerar cargas equivalentes de até 100% maior que a carga de apoio simples (CHODOUNSKY; VIECILLI, 2007).

Devido a isso, o conhecimento do equipamento a ser utilizado nesses pisos industriais implicam diretamente em seu dimensionamento, Rodrigues, Faria e Silva (2015) citam as principais características a serem coletadas dos sistemas de estanteiras:

- a. Espaçamento entre os montantes x , que é a menor distância entre eles;
- b. Espaçamento entre montantes y , que é a maior distância entre eles;
- c. Distância z , entre duas prateleiras adjacentes;
- d. Área de contato A_c da placa de apoio dos montantes;
- e. Carga do montante, P_r ;
- f. Coeficiente de recalque do subleito ou sub-base k .

Após a coleta de informações, assim como as cargas móveis, é aplicado as minorações de resistência dos materiais e majorações de esforços e aplicados as fórmulas de Meyerhof.

4.1.4 Armaduras (telas soldadas)

Em câmaras frigoríficas utiliza-se tela soldada dupla, devido aos esforços de retração, sendo presente esforços de cargas moveis e de estanteiras, como na Figura 5. Rodrigues, Faria e Silva (2015) apontam que uma espessura de concreto para a placa deve ser arbitrada para determinar a armação necessária que irão resistir aos esforços solicitantes.

As armaduras podem ser determinadas através de dois coeficientes adimensionais, k_3 e k_6 (RODRIGUES; FARIA; SILVA, 2015) e são apresentadas na equação (4.6), (4.7) e na Tabela 2 respectivamente. Sendo d e b a largura útil (geralmente adotado em 100 cm) e a altura útil da armadura, respectivamente. Tais coeficientes já foram minorados quanto a resistência do concreto e do aço (RODRIGUES; FARIA; SILVA, 2015).

Tabela 2 – Valores de k_3 em função de k_6 , aço CA-60 e f_{ck}

Valores de k_6 para concreto de f_{ck} igual a:					Valores de k_3
25	26	27	28	30	CA - 60
18.638	17.921	17.257	16.641	15.531	0,269
4.710	4.529	4.361	4.206	3.925	0,270
2.118	2.036	1.961	1.891	1.726	0,271
1.206	1.159	1.116	1.077	1.005	0,272
781,7	751,7	723,8	698,0	651,4	0,273
550,4	529,2	509,6	491,4	458,6	0,274
410,3	394,5	379,9	366,3	341,9	0,275
319,0	306,7	295,4	284,8	265,8	0,276
256,2	246,4	237,2	228,8	213,5	0,277
211,2	203,1	195,6	188,6	176,0	0,278
177,8	171,0	164,7	158,8	148,2	0,279
152,4	146,6	141,1	136,1	127,0	0,280
117,1	112,6	108,4	104,5	97,54	0,283
104,5	100,5	96,75	93,30	87,08	0,284
94,30	90,67	87,31	84,19	78,58	0,285
85,94	82,63	79,57	76,73	71,62	0,287
79,01	75,98	73,16	70,55	65,85	0,288
73,19	70,37	67,77	65,35	60,99	0,290
68,22	65,60	63,17	60,91	56,85	0,291
63,94	61,48	59,20	57,09	53,28	0,293
60,20	57,89	55,74	53,75	50,17	0,294
56,92	54,73	52,70	50,82	47,43	0,296
54,01	51,93	50,01	48,23	45,01	0,298
51,42	49,44	47,61	45,91	42,85	0,299
49,14	47,15	45,50	43,87	40,95	0,301
47,54	45,71	44,02	42,44	39,62	0,302
46,06	44,28	42,64	41,12	38,38	0,304
44,68	42,96	41,37	39,89	37,23	0,305
43,39	41,73	40,18	38,75	36,16	0,307
42,20	40,57	39,07	37,67	35,16	0,308
41,07	39,49	38,03	36,67	34,23	0,309
40,02	38,48	37,06	35,73	35,35	0,311
39,03	37,53	36,14	34,85	32,53	0,312
38,10	36,64	35,28	34,02	31,75	0,314
37,22	35,79	34,47	33,24	31,02	0,316
36,40	35,00	33,70	32,50	30,33	0,317
35,61	34,24	32,97	31,80	29,68	0,319
34,87	33,53	32,29	31,14	29,06	0,320
34,17	32,87	31,64	30,51	28,47	0,322
33,50	32,22	31,02	29,91	27,92	0,324
32,87	31,61	30,44	29,35	27,39	0,325
32,27	31,03	29,88	28,81	26,89	0,327

Fonte: Adaptado de Rodrigues, Faria e Silva (2015)

A tela soldada que irá resistir ao momento positivo é a tela inferior, no entanto como mostra a Figura 14 as empilhadeiras irão passar pelos cantos das placas resultando em momento negativo (RODRIGUES; BOTACINI; GASPARETTO, 2006), sendo necessário calcular a armadura superior que irá resistir a esse esforço.

$$k_6 = \frac{b \cdot d^2}{M_k} \quad (4.6)$$

$$A_s = \frac{k_3 \cdot M_k}{d} \quad (4.7)$$

A armadura de retração ou armadura distribuída permite o controle das fissurações ou retração no concreto e possibilita placas de maiores dimensões (RODRIGUES; FARIA; SILVA, 2015). Ainda, Rodrigues, Faria e Silva (2015) apresenta que não é possível evitar as fissuras no concreto, no entanto quanto maior a taxa de armadura de retração a probabilidade de ocorrência de fissura diminui e pode se tornar praticamente nula.

Através da equação (4.8) calcula-se a quantidade de armadura necessária para combater a fissuração no concreto.

$$A_{s.retração} = \frac{f \cdot L \cdot h}{333} \quad (4.8)$$

Para o coeficiente de atrito (f) a Tabela 3 sugere alguns valores com base no contato da placa de da sub-base. L e h são o comprimento e espessura da placa, respectivamente.

Tabela 3 – Coeficientes de atrito usuais

Material	Coeficiente de atrito
Plástico	0,8
Brita graduada	2,0

Fonte: Adaptado de Rodrigues, Faria e Silva (2015)

4.1.5 Verificação da punção

De acordo com a NBR 6.118 (ABNT, 2014) a punção deve ser verificada com a equação (4.9). na face de área de aplicação da força dos montantes é determinado a tensão de resistência de cálculo (τ_{Rd1}) na equação (4.11) e (τ_{Rd2}) a equação (4.10).

$$\tau_{Sd} = \frac{F_{sd}}{\mu \cdot d} \quad (4.9)$$

Onde F_{sd} é a força atuante de cálculo, μ é o perímetro crítico para área retangular, d é a altura útil da seção transversal da placa de concreto.

$$\tau_{Rd1} = 0,13 \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{20}{d}}\right) \cdot (100 \cdot \rho \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \quad (4.10)$$

$$\tau_{Rd2} = 0,270 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \cdot f_{cd} \quad (4.11)$$

Onde τ_{Rd} é a tensão resistente de cálculo em MPa, f_{ck} e f_{cd} estão definidos na seção 4.4

4.1.6 Esforços devido às variações volumétricas do concreto

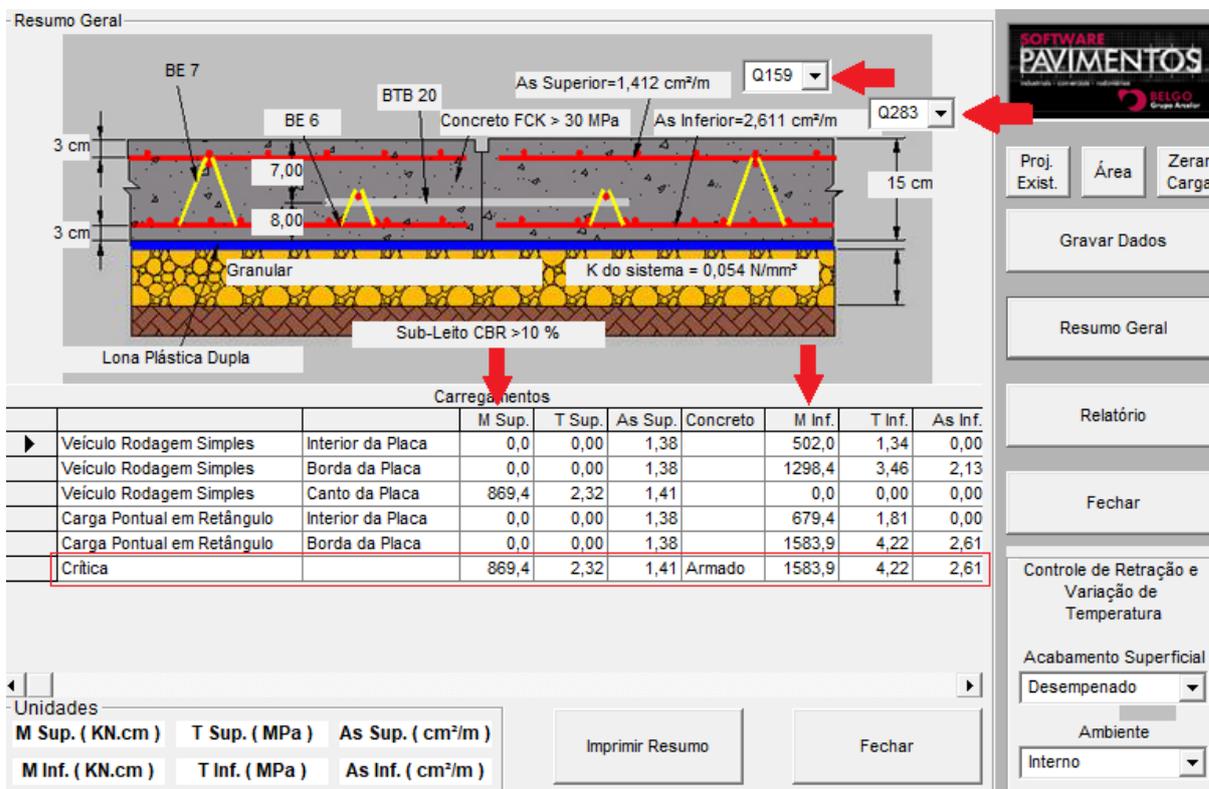
Por se tratar de uma câmara congelada o concreto irá gerar esforços de atrito, devido às movimentações térmicas, entre a sub-base e a placa de concreto, sendo a tração o esforço mais importante (RODRIGUES, 2019). No entanto os procedimentos de cálculo são rudimentares e para melhor precisão é necessário a utilização de elementos finitos, não fazendo parte do objetivo do trabalho.

4.2 CÁLCULO COM SOFTWARE: BELGO PAVIMENTOS V2

Para comparação de resultados, a utilização do *software*: Belgo Pavimentos V2.0, desenvolvido pela Arcelormittal e disponível gratuitamente, apresenta facilidade para de utilização e calculando momentos negativos e positivos, tanto para cargas móveis (interior, borda e canto) e cargas de estanteiras.

O emprego dos dados é relativamente simples e fácil, após estabelecer os parâmetros necessários já apresentados nesse capítulo, o *software* sugere as telas soldadas a serem empregadas pela situação crítica. Os resultados podem ser observados na Figura 10.

Figura 10 – Detalhamento e resultados de armadura pelo software: Belgio Pavimentos v2.0



Fonte: Disponível em: <https://brasil.arcelormittal.com/produtos-solucoes/softwarees>

4.3 DIMENSIONAMENTO DE PISOS COM FIBRA

Quando se trata de dimensionamento de pisos industriais utilizando fibras estruturais, tanto de aço como de polipropileno, Rodrigues, Faria e Silva (2015) apresentam o método do conceito de tenacidade. Esse método foi concebido por Lösberg (LÖSBERG, 1962) na utilização de pavimentos estruturalmente armados e é utilizado para cálculos de pisos com CRF (RODRIGUES; FARIA; SILVA, 2015).

Essa metodologia se baseia em que a capacidade resistente da placa apoiada em meio elástico é dada pela soma dos momentos positivo e negativo, conforme a Figura 11. O momento negativo pode ser dimensionado elasticamente, admitindo a não fissuração do concreto, sendo similar aos pisos de concreto simples, dada pela equação (4.12a) (RODRIGUES; FARIA; SILVA, 2015).

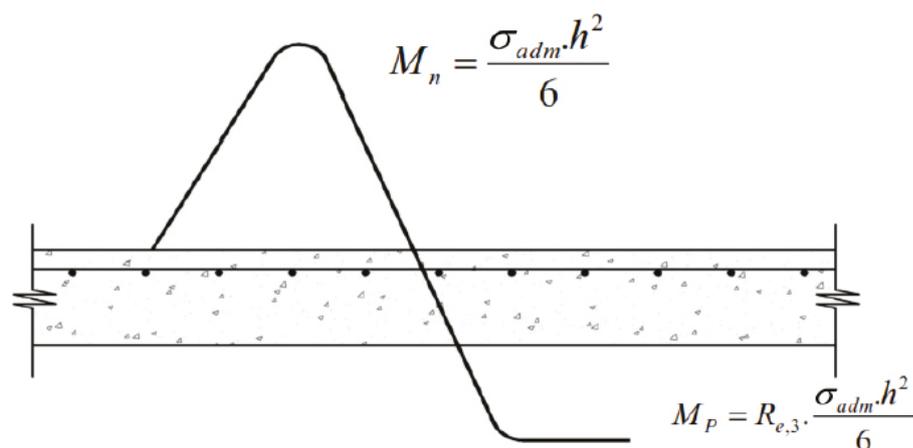
Para o momento positivo, Rodrigues, Faria e Silva (2015) apresentam duas possibilidades, através dos métodos convencionais seguindo a NBR 6.118 (ABNT, 2014) e pelo método apresentado no manual de Rodrigues, Faria e Silva (2015)

O método apresentado pelo manual utiliza o valor de $R_{e,3}$ obtido através dos ensaios de tenacidade da norma japonesa JSCE-SF4 (1984), os quais são valores obtidos por relação entre a resistência residual do corpo de prova e a resistência da

matriz (RODRIGUES; FARIA; SILVA, 2015) e são fornecidos pelos fornecedores do material.

Para calcular o momento resistente é necessário a soma dos momentos negativos observado na equação (4.12a) e momento positivo observado na equação (4.12b), sendo a soma mostrada na equação (4.12c). O resultando é mostrado na última equação (4.12d) sendo o momento resistente da placa de concreto.

Figura 11 – Momento admissível da placa armada apoiada em meio elástico



Fonte: (RODRIGUES; FARIA; SILVA, 2015, p. 73)

$$M_{neg} = \frac{\sigma_{adm} \cdot h^2}{6} \quad (4.12a)$$

$$M_{pos} = R_{e,3} \cdot \frac{\sigma_{adm} \cdot h^2}{6} \quad (4.12b)$$

$$M_{res} = M_{neg} + M_{pos} \quad (4.12c)$$

$$M_{res} = \left(1 + \frac{R_{e,3}}{100}\right) \cdot \frac{\sigma_{adm} \cdot h^2}{6} \quad (4.12d)$$

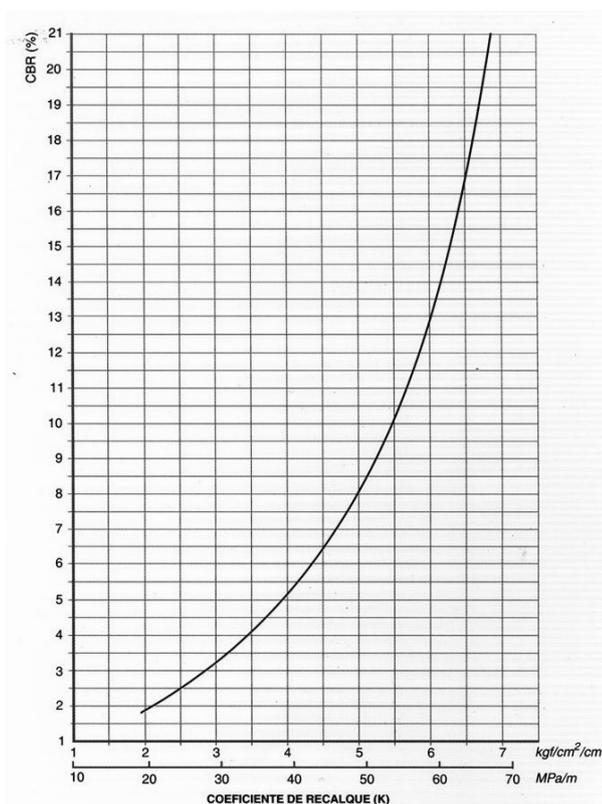
4.4 MATERIAIS ADOTADOS

4.4.1 Tipo de solo

Especificando o solo utilizado na sub-base em todos os pisos dimensionados, são solos que possuem CBR de 10%, do tipo granular com espessura de 10 cm

(fundação diretamente apoiadas sobre o solo) e com SPT que aumenta conforme a profundidade, não sendo necessário se preocupar com recalques. Através da Figura 12 estabelece relação do CBR e coeficiente de recalque vertical para solos granulares com 10 cm de espessura, resultando em 54 MPa/m.

Figura 12 – Gráfico da relação CBR (%) e coeficiente de recalque vertical k (MPa/m e kgf/cm²/cm) em solos granulares de h=10 cm



Fonte: (RODRIGUES; PITTA, 1999, p. 32)

4.4.2 Concreto

O concreto utilizado para os dimensionamento possui resistência característica (f_{ck}) de 30 MPa e resistência de tração na flexão ($f_{ctM,k}$) de 4,5 MPa. As resistências escolhidas para o concreto se devem por ser comum a utilização dessa resistência em pisos sem revestimento no Brasil (RODRIGUES; FARIA; SILVA, 2015).

O fator água cimento utilizado deve ser menor que 0,55 (ISAIA, 2011) com consumo de cimento mínimo de 320 kg/m³ e máximo de 375 kg/m³, tais dados são utilizados para dimensão máxima do agregado de 19 mm e estão presentes no manual de Rodrigues, Faria e Silva (2015).

Foi escolhido esse tamanho de agregado para efeito de facilidade de orçamentos em concreteiras e por ser comum utilização na construtora. O módulo de

elasticidade do concreto segue a NBR 6.118 (ABNT, 2014), utilizado o coeficiente $\alpha_E = 1,00$ e é mostrado na equação (4.13).

$$E = \alpha_E \cdot 5600 \cdot \sqrt{f_{ck}} \quad (4.13)$$

4.4.3 Aço

O aço utilizado em telas soldadas fabricadas na região de Ponta Grossa e para armadura de retração é o aço CA - 60, com tensão de escoamento (f_y) de 600 MPa (f_{yk}).

4.4.4 Fibras metálicas e sintéticas

As fibras sintéticas utilizadas são fabricadas pela WIRAND possuindo o nome comercial de Fibra B: WIRAND FF3 e são dosadas em 15kg/m³ o que resulta em um volume de 0,19%, sendo ensaiadas através da norma japonesa JSCE-SF4 (1984) como mostrado no manual de Rodrigues, Faria e Silva (2015), esse ensaio - fornecido pelos fabricantes - aponta o coeficiente $R_{e,3} = 37,4 \%$ e tensão de ruptura de $\sigma_{adm} = 4,2$ MPa os quais são os parâmetros necessários para dimensionar as placas de concreto com fibras através do manual de Rodrigues, Faria e Silva (2015).

As fibras metálicas utilizadas são fabricadas pela Diprotec possuindo o nome comercial de Fiber Hold 8.A e são dosadas em 6kg/m³ o que resulta em um volume de 0,67%, possuindo coeficiente $R_{e,3} = 47,9 \%$ e tensão de ruptura de $\sigma_{adm} = 3,72$ MPa, também ensaiadas pela mesma norma proposta no manual de Rodrigues, Faria e Silva (2015) e exemplificadas no parágrafo anterior.

4.5 EQUIPAMENTOS SELECIONADOS

No Capítulo 2, as empilhadeiras foram citadas como equipamentos de cargas móveis ou acidentais, dessa maneira o modelo de empilhadeira escolhida foi a HYUNDAI 35L-7SA (Figura 13) com especificações necessárias para dimensionamento apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Tabela de especificações necessárias para dimensionamento de cargas acidentais ou móveis

Dimensões e cargas - Empilhadeira Hyundai 35L-7SA		
Descrição	Variável	Valor
Peso Operacional	Pr	4,65 ton.
Tipo de rodagem	-	Simplex
Distância entre eixos	s	1,21 m
Pressão de enchimento	q	1,75 kPa

Fonte: O autor. (2022)

Figura 13 – Empilhadeira pneumática Hyundai 35L-7SA



Fonte: Disponível em <https://www.trucksdirectuk.co.uk/p/hyundai-35l-7a-used-gas-forklift-4158>

Para as cargas de porta-paletes, o manual do IBTS recomenda utilizar cargas de montantes, ou seja, cargas concentradas originadas do equipamento de armazenagem, não gerando cargas uniformemente distribuídas. São necessárias certas informações quanto ao layout do porta-paletes, o qual é apresentado na Figura 14 e suas dimensões necessárias e carga das prateleiras podem ser vistas na Tabela 5.

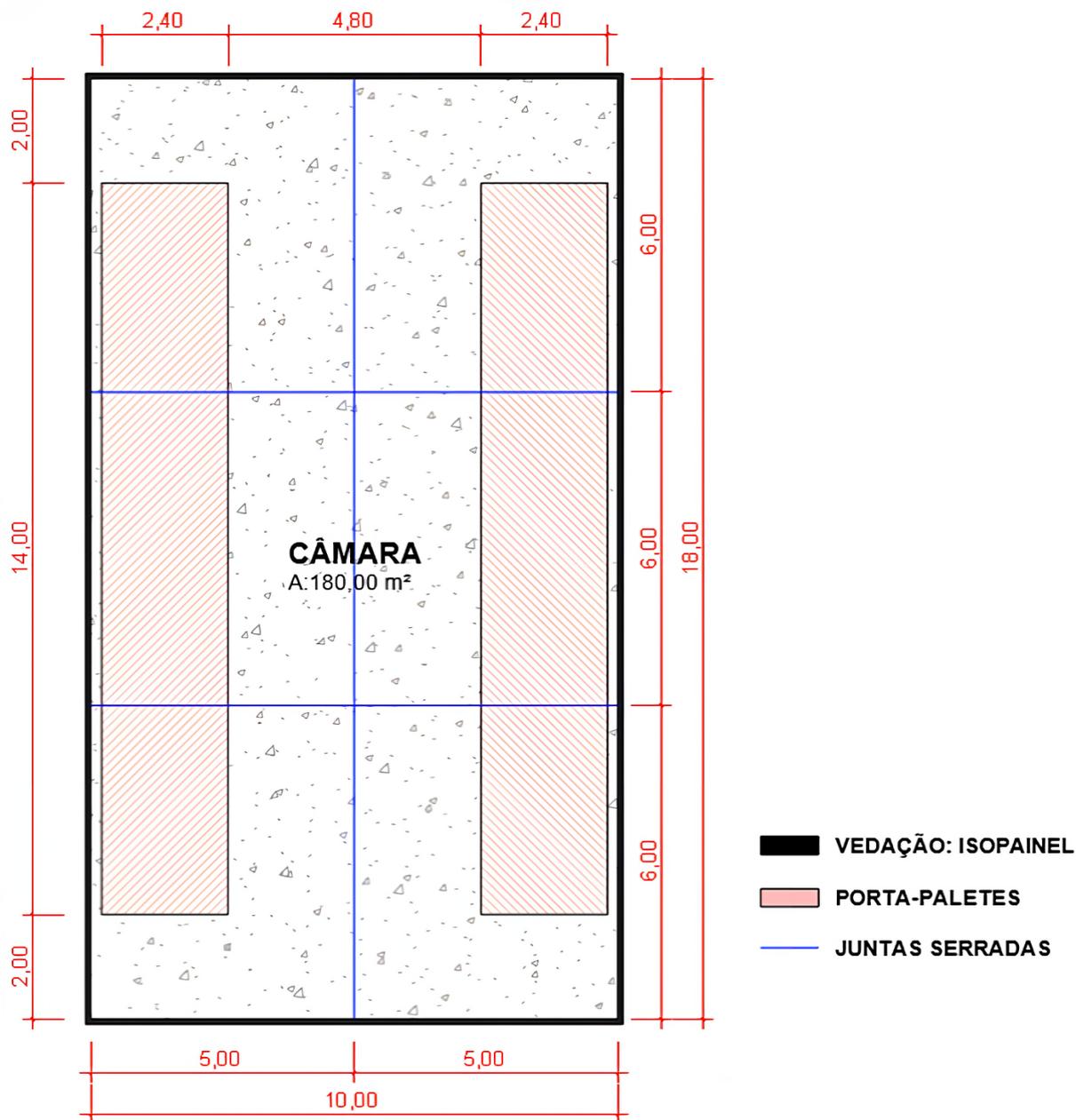
Estes dados foram obtidos através de uma análise de dimensionamento realizada por Cunha (2013), as especificações do equipamento de armazenagem são fornecidas pelo fabricante em projetos reais.

Tabela 5 – Tabela de especificações necessárias para dimensionamento de cargas pontuais de montantes

Dimensões e cargas - Porta Paletes		
Descrição	Variável	Valor
Carga do montante (por apoio)	P	6,00 tf
Espaçamento entre montantes (menor)	x	1,20 m
Espaçamento entre montantes (maior)	y	2,40 m
Distância entre duas prateleiras adjacentes	z	4,80 m
Área de contato da placa de apoio de montantes	A	0,040 m ²

Fonte: O autor. (2022).

Figura 14 – Layout de pré-dimensionamento das juntas da câmara congelada, medidas do equipamento porta-paletes, dimensões entre placas de concreto e distância entre corredores



Fonte: O autor. (2022).

5 ORÇAMENTO

Esse capítulo mostra em tabela a composição detalhada de uma estrutura de piso industrial de uma câmara congelada (CRF e CA) e suas quantidades através de dados extraídos da construtora Hexágono Engenharia Civil LTDA. Para os valores, utilizou-se o sistema SINAPI (não desonerado) e pesquisa de mercado para os itens que não se encontravam.

A Tabela 6a mostra a composição do piso industrial de câmara congelada em concreto armado e a Tabela 6b apresenta a composição da estrutura quando utilizado a fibra. É possível observar poucas diferenças, a mudança do reforço estrutural, a quantidade de concreto e os acessórios para auxiliar a execução do piso, como os espaçadores e treliças.

Tabela 6 – Tabela de composição de piso industrial para câmara congelada (apenas material)

(a) Reforço de tela soldada.

Piso industrial de câmara congelada com tela soldada			
Item	Descrição	Unidade	Quantidade
1.1	Fôrmas para as juntas de construção	m ²	180,00
1.2	Lona 200 micras	m ²	198,00
1.3	Isopor de dilatação perimetral	m	56,00
1.4	Tela Q196	painel	30,00
1.5	Barra de transferência	un.	36,00
1.6	Espaçador	un.	720,00
1.7	Treliça H = 8 cm	m	189,00
1.8	Concreto Usinado 30 MPa	m ³	27,00
1.9	Selamento das juntas com P.U.	m	94,00
1.10	Cura Química	m ²	180,00
1.11	Endurecedor de superfície	m ²	180,00
1.12	Tubulação de ventilação PVC perfurado	m	54,00
1.13	Placa de EPS para isolamento térmico	m ²	180,00
1.14	Contrapiso de concreto armado	m ²	180,00

(b) Reforço utilizando macrofibra metálica ou polimérica

Piso industrial de câmara congelada com macrofibra			
Item	Descrição	Unidade	Quantidade
1.1	Fôrmas para as juntas de construção	m ²	180,00
1.2	Lona 200 micras	m ²	198,00
1.3	Isopor de dilatação perimetral	m	56,00
1.4	Macrofibra metálica ou de polipropileno	painel	30,00
1.5	Concreto Usinado 30 MPa	m ³	27,00
1.6	Selamento das juntas com P.U.	m	94,00
1.7	Cura Química	m ²	180,00
1.8	Endurecedor de superfície	m ²	180,00
1.9	Tubulação de ventilação PVC perfurado	m	54,00
1.10	Placa de EPS para isolamento térmico	m ²	180,00
1.11	Contrapiso de concreto armado	m ²	180,00

Fonte: Adaptado de Hexágono Engenharia Civil LTDA. (2022).

Utilizando o Apêndice A e Apêndice B para determinar as armaduras e espessuras das placas é realizado o orçamento conforme as quantidades expressadas na Tabela 6. Nota-se que as placas de concreto armado possuem espessura de 15 cm e para as fibras metálicas e sintéticas, possuem uma espessura maior de 20 cm e 20,5 cm respectivamente. Os resultados são apresentados nas Tabela 7.

Tabela 7 – Tabelas de orçamento - piso industrial para câmara congelada utilizando SINAPI 12/2022 (não desonerado) e pesquisa de mercado

(a) Piso industrial de espessura h=15 cm com reforço estrutural de tela soldada

(continua)

Piso industrial de câmara congelada com tela solada					
Item	Descrição	Unidade	QTD.	CÓDIGO	Valor Total (R\$)
1.1	Fôrmas para as juntas de construção	m ²	180	*	720,00
1.2	Lona 200 micras	m ²	198	42408	502,92
1.3	Isopor de dilatação perimetral	m	56	11615	105,28
1.4	TELA Q138	painel	30	7155	10.769,22
1.5	TELA Q159	painel	15	42406	6.171,79
1.6	TELA Q196	painel	15	7156	7.724,10
1.7	Barra de transferência (Ø 20 mm)	un.	36	42403	720,00
1.8	Espaçador de telas para piso	un.	720	*	612,00
1.9	TRELIÇA H = 8 cm	m	189	*	1512,00
1.10	Concreto Usinado 30 MPa	m ³	27	1525	12.554,73
1.11	Selamento das juntas com P.U.	m	94	142	705,00
1.12	Cura Química	m ²	180	42409	378,00
1.13	Endurecedor de superfície	m ²	180	43146	342,00
1.14	Tubulação de ventilação PVC perfurado	m	54	44315	3.623,94
1.15	Placa de EPS para isolamento térmico	m ²	180	*	21.600,00
1.16	Contrapiso de concreto armado	m ²	180	*	9.786,60
Total		vb.	1,00		77.827,58

*Itens não presentes no sistema SINAPI

(b) Piso industrial de espessura h=20 cm utilizando reforço de fibra metálica

Piso industrial de câmara congelada com fibra de aço					
Item	Descrição	Unidade	QTD.	CÓDIGO	Valor Total (R\$)
1.1	Fôrmas para as juntas de construção	m ²	180	**	720,00
1.2	Lona 200 micras	m ²	198	42408	502,92
1.3	Isopor de dilatação perimetral	m	56	11615	105,28
1.4	Barra de transferência (Ø 20 mm)	un.	36	42403	720,00
1.5	Fibra de aço	kg	540	*	6.480,00
1.6	Concreto Usinado 30 MPa	m ³	36	1525	16.739,64
1.7	Selamento das juntas serradas com P.U.	m	94	142	705,00
1.8	Cura Química	m ²	180	42409	378,00
1.9	Endurecedor de superfície	m ²	180	43146	342,00
1.10	Tubulação de ventilação PVC perfurado	m	54	44315	3.623,94
1.11	Placa de EPS para isolamento térmico	m ²	180	*	21.600,00
1.12	Contrapiso de concreto armado	m ²	180	*	9.786,60
Total		vb.	1,00		61.703,38

*Itens não presentes no sistema SINAPI

Tabela 7 – Tabelas de orçamento - piso industrial para câmara congelada utilizando SINAPI 12/2022 (não desonerado) e pesquisa de mercado

(c) Tabela de orçamento SINAPI 12/2022 - piso industrial para câmara congelada de espessura h=20.5 cm utilizando reforço de fibra de polipropileno

(conclusão)

Piso industrial de câmara congelada com fibra de polipropileno					
Item	Descrição	Unidade	QTD.	CÓDIGO	Valor Total (R\$)
1.1	Fôrmas para as juntas de construção	m ²	180	**	720,00
1.2	Lona 200 micras	m ²	198	42408	502,92
1.3	Isopor de dilatação perimetral	m	56	11615	105,28
1.4	Barra de transferência (Ø 20 mm)	un.	36	42403	720,00
1.5	Fibra de polipropileno	kg	216	*	8.596,80
1.6	Concreto Usinado 30 MPa	m ³	36	1525	16.739,64
1.7	Selamento das juntas serradas com P.U.	m	94	142	705,00
1.8	Cura Química	m ²	180	42409	378,00
1.9	Endurecedor de superfície	m ²	180	43146	342,00
1.10	Tubulação de ventilação PVC perfurado	m	54	44315	3.623,94
1.11	Placa de EPS para isolamento térmico	m ²	180	*	21.600,00
1.12	Contrapiso de concreto armado	m ²	180	*	9.786,60
Total		vb.	1,00		63.820,18

*Itens não presentes no sistema SINAPI

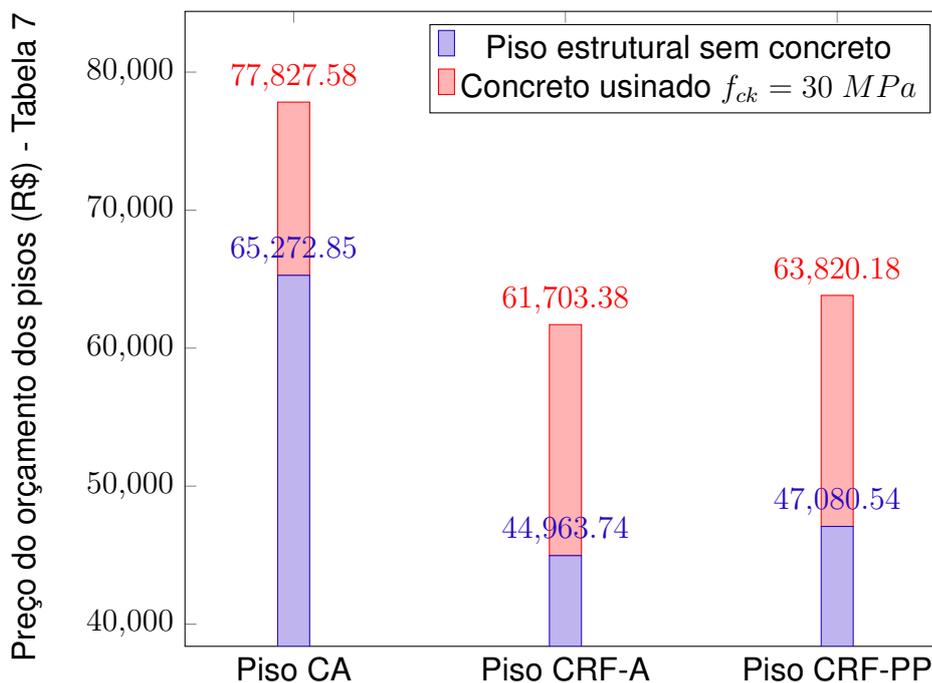
Fonte: O Autor. (2022)

É interessante notar que para a matriz de fibras resistir os mesmo esforços a placa deve possuir uma espessura cerca de um terço maior (5 cm), aumentando consideravelmente a quantidade de concreto quando comparada ao sistema de concreto armado. Mesmo assim, os valores ficam em cerca de 20% menor, devido ao valor alto das telas de aço e itens que auxiliam na execução do piso industrial.

Outro fator notável é em relação aos itens do orçamento: concreto, estrutura (CA ou CRF), placa de EPS e contrapiso responsável por alterar drasticamente o valor do custo final, mostrando a importância de encontrar outros fornecedores para auxiliar na redução de custos.

A Figura 15 apresenta de forma resumida e facilita a visualização da diferença de preços que compõe um piso industrial de câmara congelada. Destaca-se a fibra metálica por apresentar a menor espessura entre os pisos de fibra e o menor preço conjuntamente.

Figura 15 – Gráfico de comparação quanto ao valor de orçamentos entre os pisos dimensionados



Fonte: O autor. (2023)

Observando a altura das barras vermelhas do gráfico, observa que o valor do concreto ultrapassa 50% do valor dos piso de CRF-A (concreto reforçado com fibras de aço) e CRF-PP (concreto reforçado com fibras de polipropileno). Ainda, mais gráficos podem ser inseridos para compreender o custo da composição dos pisos de maneira mais detalhada, no entanto o concreto faz parte da estrutura que irá resistir aos esforços é o único item que possui alteração em relação às outras composições.

6 CONCLUSÃO

O trabalho objetivou pesquisar sobre a viabilidade financeira do concreto reforçado com fibras de aço e polipropileno em pisos industriais de câmaras congeladas, definindo as características e parâmetros da câmara para estabelecer a sua funcionalidade e estrutura para definir o que foi dimensionado e orçado. Nesse sentido, foi criada uma câmara congelada fictícia, baseada em experiência de construtoras locais da região de Ponta Grossa, com definição de equipamentos baseadas no livro Chodounsky e Viecilli (2007) e estanteiras no trabalho de Cunha (2013).

Com isso, foram selecionados os tipos de fibras através de fornecedores locais e solicitados ensaios para prosseguir ao dimensionamento único de cada piso, os quais resistem aos esforços solicitados que foram estabelecidos durante o trabalho. Após a escolha dos materiais realizou-se o dimensionamento do piso estrutural com fibras e de concreto armado utilizando o manual de Rodrigues, Faria e Silva (2015). Notou-se que a quantidade de material utilizado para a construção do piso estrutural com fibras possuía uma espessura maior, necessária para suportar os mesmos esforços do piso de concreto armado, como mostrados na Tabela 6.

Através de gráficos e orçamentos, percebe-se que o piso estrutural com fibras tem um menor custo de construção que o piso estrutural de concreto armado, não só pelo baixo valor unitário de fibras mas também pela remoção de itens que não são utilizados na construção do mesmo. Com uma espessura de placa maior, os pisos utilizando as fibras possuíram aumento no valor final do volume de concreto (Tabela 7) e mesmo assim se mostra com uma redução em torno de 20% comparado ao concreto reforçado com telas soldadas.

Dessa maneira, a justificativa do trabalho torna evidente a viabilidade financeira do CRF em pisos de câmaras congeladas, no entanto os projetos para determinação de esforços reais e outros métodos de cálculo são aconselhados para tornar o dimensionamento mais preciso. Além disso a partir de 2021 as normas para fibras foram publicadas, uma alternativa de dimensionamento dos pisos industriais para trabalhos seguintes.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI302.1R-15**: Guide to concrete floor and slab construction. Farmington Hills, 2015. 76 p.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI544.4R-18**: Guide do design with fiber-reinforced concrete. Farmington Hills, 2018. 44 p.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI CT21**: Concrete terminology. Farmington Hills, 2021. 80 p. Disponível em: <https://www.concrete.org/store.aspx>.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). **ASHRAE Terminology**. United States, 2022. Disponível em: <https://xp20.ashrae.org/terminology/>.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6.120**: Cargas para cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980. 5 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6.122**: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 1996. 33 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6.118**: Projeto de estruturas de concreto — procedimento. Rio de Janeiro, 2014. 256 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16.935**: Concreto reforçado com fibras — determinação das resistências à tração na flexão (limite de proporcionalidade e resistências residuais) — método de ensaio. Rio de Janeiro, 2021. 27 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16.938**: Concreto reforçado com fibras — determinação das resistências à tração na flexão (limite de proporcionalidade e resistências residuais) — método de ensaio. Rio de Janeiro, 2021. 12 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16.940**: Concreto reforçado com fibras — determinação das resistências à tração na flexão (limite de proporcionalidade e resistências residuais) — método de ensaio. Rio de Janeiro, 2021. 11 p.
- CHAGAS, J. A. C. **Projeto e Construção de Câmaras Frigoríficas**. [S.l.], 2012. Disponível em: <https://wiki.sj.ifsc.edu.br/images/9/98/Projetocamaras.pdf>. Acesso em: 3 de abril de 2022.
- CHODOUNSKY, M. A.; VIECILLI, F. A. **Pisos Industriais de concreto: aspectos teóricos e executivos**. São Paulo: Reggenza, 2007.
- COSTA, M. A. de S. **Projeto de dimensionamento e seleção de equipamentos para uma câmara frigorífica de congelamento de carnes e resfriamento de laticínios**. Monografia apresentada ao curso de Engenharia Mecânica — Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2021. Disponível em: <https://repository.ufrpe.br/handle/123456789/3071>. Acesso em: ago. 2022.

CRISTELLI, R. **Pavimentos Industriais de Concreto Análise do Sistema Concreto-estrutivo**. Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil — Universidade Federal Minas Gerais, 2010. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/BUOS-9ADKHE>. Acesso em: ago. 2022.

CUNHA, P. F. da. **Dimensionamento e análise numérica de pisos industriais de concreto**. Junho de 2013. 342 f. Mestrado em Engenharia Civil - Estruturas — Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <https://www.bdtd.uerj.br:8443/handle/1/11582>. Acesso em: nov. 2022.

FIGUEIREDO, A. D. de. **Concreto reforçado com fibras**. Tese (Livre Docência em Materiais e Componentes de Construção Civil) — Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/3/tde-18052012-112833/en.php>. Acesso em: jul. 2022.

GROSZEWICZ, B. Z. **Patologias em pisos de concreto sob baixas temperaturas estudo de caso**. 50 f. Monografia (Especialização) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

GÜL, R. *et al.* Thermo-mechanical properties of fiber reinforced raw perlite concrete. **ScienceDirect**, Ezrurum, n. 61, p. 5145–5149, 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167577X07003965>. Acesso em: jul. 2022.

ISAIA, G. C. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. vol. 2. São Paulo: IBRACON, 2011.

LEITE, A. M. **Avaliação da Fibra Polimérica na composição do concreto para fins estruturais**. Março de 2018. 257 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil - Estruturas) — Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2018.

LÖSBERG, A. **Design Methods for Structurally Reinforced Concrete Pavements**: Chalmers tekniska högskolas handlingar. Gothenburg: 1961, 1962.

LSTIBUREK, J. Understanding vapor barriers. **Building Science Press**, v. 1, p. 1–29, 2011.

MEYERHOF, G. G. **Load-Carrying of Concrete Pavements**: Proceedings of the american society of civil engineers. [S.l.: s.n.], 1962.

NAWY, E. G. **Concrete Construction Engineering**: Handbook. 2. ed. New York: CRC Press, 2008.

PACKARD, R. **Slab Thickness design for Industrial Concrete Floors on Grade**. Skokie, USA: Portland Cement Association (PCA), 1976.

PICKETT, G.; K., R. G. **Influence Charts for Concrete Pavements**. [S.l.]: In ASCE Proceedings, 1950.

RODRIGUES, P. P. F. **Manual de Pisos Industriais**: Fibras de aço e protendido. 1. ed. São Paulo: Pini, 2010.

RODRIGUES, P. P. F. **Pisos Industriais: com concreto de retração compensada**. 1. ed. São Paulo: J. J. CAROL, 2019.

RODRIGUES, P. P. F.; BOTACINI, S. M.; GASPARETTO, W. E. **Manual Gerdau de Pisos Industriais**. 1. ed. São Paulo: Pini, 2006.

RODRIGUES, P. P. F.; FARIA, B. M.; SILVA, J. B. R. da. **NOVOS CRITÉRIOS PARA PAVIMENTOS INDUSTRIAIS DE CONCRETO ARMADO**: Pavimentos industriais de concreto armado. São Paulo: Intituto Brasileiro de Telas Soldadas, 2015.

RODRIGUES, P. P. F.; PITTA, M. R. **Dimensionamento de Pavimentos de Concreto Estruturalmente Armados**. São Paulo: Intituto Brasileiro de Telas Soldadas (IBTS) e Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), 1999.

ROSA, A. E. **FRIGOFACIL: Sistema de Dimensionamento de Câmaras Frigoríficas**. 1-113 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção – Inteligência Aplicada) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/78216/153110.pdf?sequ>.

SARZALEJO, A. G. *et al.* **Fibra para elemento estrutural para reforço do concreto**: Manual técnico. 1. ed. São Paulo: MACCAFERRI, 2009.

SINGH, H. **Steel Fiber Reinforced Concrete**: Behavior, modelling and design. 1. ed. India: Springer, 2018.

STOECKER, W. F.; JABARDO, J. M. S. **Refrigeração Industrial**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2002.

THE CONCRETE SOCIETY. **TR 34: Concrete Industrial Ground Floors - Fourth Edition**: A guide to design and construction. United Kingdom, 2016. 104 p.

WESTERGAARD, H. M. **Theory of Concrete Pavement Design**: In proceedings highway research board. USA: [s.n.], 1927.

WONG, T. **Macro Synthetic Fibre Reinforced Ground Slabs**. 2. ed. United Kingdom: EPC, 2017.

APÊNDICE A – MEMORIAL DE CÁLCULO: PISO DE CONCRETO ARMADO

Módulo de elasticidade, sendo:

$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$ (Resistência característica à compressão do concreto)

$$E = 5600 \cdot \sqrt{f_{ck}}$$

$$E = 5600 \cdot \sqrt{30}$$

$$E = 30672,46 \text{ MPa}$$

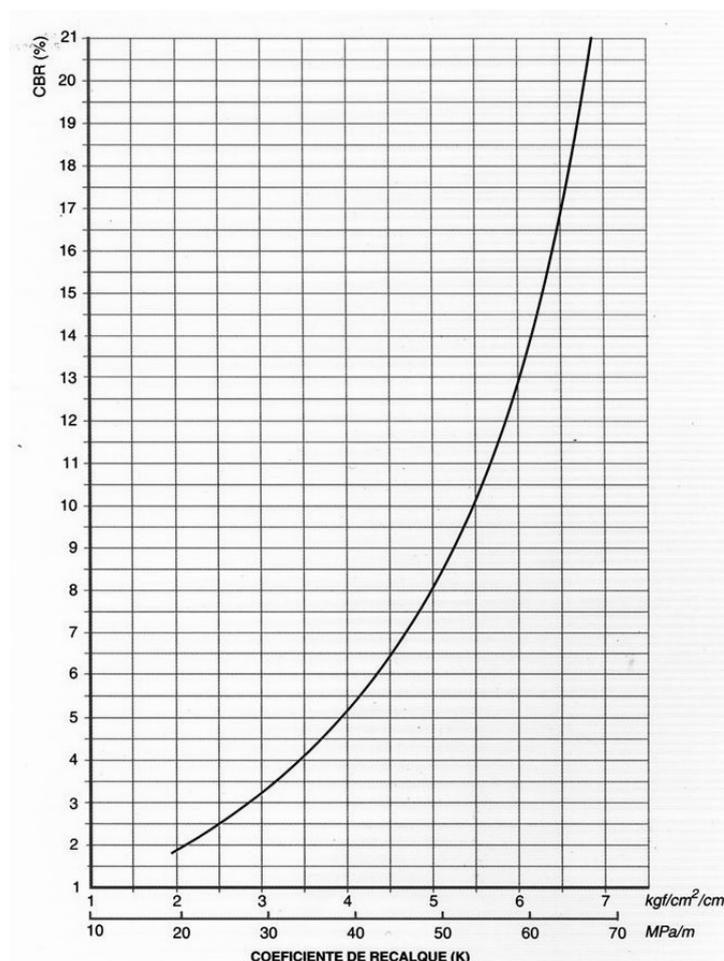
Raio de rigidez, sendo:

$E = 30672,46 \text{ MPa}$ (módulo de elasticidade do concreto com $\alpha_E = 1,00$)

$h = 0,15 \text{ m}$ (espessura da placa)

$\nu = 0,20$ (coeficiente de poisson do concreto)

$k = 57 \text{ MPa/m}$ (ver Figura 12)



$$l = \left(\frac{E \cdot h^3}{12(1 - \nu^2) \cdot k} \right)^{0,25}$$

$$l = \left(\frac{30672,46 \cdot 0,15^3}{12(1 - 0,20^2) \cdot 57} \right)^{0,25}$$

$$l = 0,639 \text{ m}$$

CARGAS MÓVEIS:

Momento (interno - positivo), sendo:

$l = 0,639 \text{ m}$ (calculado anteriormente)

$q = 1,75 \text{ MPa}$ (ver subseção 4.1.2)

$\gamma_q = 1,5$ (coeficiente de majoração de esforços variáveis)

Valor da carga para cada apoio da empilhadeira (ver seção 4.5)

$$Pr = \frac{P \cdot \gamma_q}{2}$$

$$Pr = \frac{46,5 \cdot 1,5}{2}$$

$$Pr = 34,875 \text{ kN}$$

$$Ac = \frac{Pr}{q}$$

$$Ac = \frac{348,75}{1,75}$$

$$Ac = 0,0199 \text{ m}^2$$

$$a = \sqrt{\frac{Ac}{\pi}}$$

$$a = \sqrt{\frac{0,0199}{\pi}}$$

$$a = 0,0796 \text{ m}$$

$$M = \frac{P_r}{6(1 + \frac{2a}{l})}$$

$$M = \frac{348,75}{6(1 + \frac{2 \cdot 0,0796}{0,639})}$$

$$M = 46,52 \text{ tf.cm/m}$$

Momento (borda - positivo):

$$M = \frac{P_r}{3,5(1 + \frac{3a}{l})}$$

$$M = \frac{348,75}{3,5(1 + \frac{3 \cdot 0,0796}{0,639})}$$

$$M = 72,51 \text{ tf.cm/m}$$

Momento (canto - negativo)

$$M_{neg} = \frac{P_r}{3,5(1 + \frac{3a}{l})}$$

$$M_{neg} = \frac{348,75}{3,5(1 + \frac{3 \cdot 0,0796}{0,639})}$$

$$M_{neg} = 116,34 \text{ tf.cm/m}$$

CARGAS DE MONTANTES:

Momento (interno - positivo), sendo:

$l = 0,639 \text{ m}$ (calculado anteriormente)

$A_c = 400 \text{ cm}^2$ (fornecido pelo fabricante - ver Tabela 5)

$\gamma_g = 1,5$ (coeficiente de majoração de esforços permanentes)

$$Pr = P \cdot \gamma_g$$

$$Pr = 60 \cdot 1,5$$

$$Pr = 90 \text{ kN}$$

$$a = \sqrt{\frac{Ac}{\pi}}$$

$$a = \sqrt{\frac{0,040}{\pi}}$$

$$a = 0,113 \text{ m}$$

$$M = \frac{Pr}{6(1 + \frac{2a}{l})}$$

$$M = \frac{900}{6(1 + \frac{2 \cdot 0,113}{0,639})}$$

$$M = 88,67 \text{ tf.cm/m}$$

Momento (borda - positivo) :

$$M = \frac{Pr}{3,5(1 + \frac{3a}{l})}$$

$$M = \frac{900}{3,5(1 + \frac{3 \cdot 0,113}{0,639})}$$

$$M = 134,45 \text{ tf.cm/m}$$

A situação crítica para o momento positivo é a situação de borda de montante de porta-paletes, $M_{pos} = 134,45 \text{ tf.cm/m}$ e para o momento negativo temos a situação de canto de placa para cargas móveis $M_{neg} = -116,34 \text{ tf.cm/m}$. Dessa maneira o momento resistente é de $M_{res} \approx 250,79 \text{ tf.cm/m}$.

CÁLCULO DE ARMADURAS

Adotando-se uma placa de $h = 15 \text{ cm}$ e a situação crítica temos o valor de k_6 e k_3 para tela soldada de aço inferior (momento positivo) utilizando a Tabela 2, sendo:

$$c = 3 \text{ cm} \text{ (cobrimento determinado por recomendação do manual)}$$

$$b = 100 \text{ cm} \text{ (largura útil - determinada por recomendação do manual)}$$

$$d = h - c$$

$$d = 15 - 3$$

$$d = 12 \text{ cm}$$

(altura útil da armadura)

$$k_6 = \frac{b \cdot d^2}{M_k}$$

$$k_6 = \frac{100 \cdot (12)^2}{135}$$

$$k_6 = 106,67$$

$$k_6 = 127,00$$

$$k_3 = 0,280$$

Área de aço para momento positivo:

$$A_s = \frac{k_3 \cdot M_{neg}}{d}$$

$$A_s = \frac{0,280 \cdot 135}{12}$$

$$A_s = 3,15 \text{ m}^2 \rightarrow Q335$$

Valor de k_6 e k_3 para tela soldada de aço superior (momento negativo) utilizando a Tabela 2, sendo:

$$d = 12 \text{ cm} \text{ (altura útil da armadura)}$$

$$b = 100 \text{ cm} \text{ (largura útil - determinada por recomendação do manual)}$$

$$k_6 = \frac{b \cdot d^2}{M_k}$$

$$k_6 = \frac{100 \cdot (12)^2}{116,00}$$

$$k_6 = 124,14$$

$$k_6 = 127,00$$

$$k_3 = 0,280$$

Área de aço para momento negativo:

$$A_s = \frac{k_3 \cdot M_{pos}}{d}$$

$$A_s = \frac{0,280 \cdot 116,00}{12}$$

$$A_s = 2,71 \text{ m}^2 \rightarrow Q283$$

Armadura de retração, sendo:

$$f = 0,8 \text{ (Tabela 3)}$$

$$L = 6 \text{ m (comprimento das placas de concreto - ver Figura 14)}$$

$$h = 15 \text{ cm (espessura da placa de concreto)}$$

$$A_s = \frac{f \cdot L \cdot h}{333}$$

$$A_s = \frac{0,8 \cdot 6 \cdot 15}{333}$$

$$A_s = 0,216 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Tais taxas são muito baixas e já estão suportadas pelas telas devido à taxa de armadura (ρ) ser superior a 0,1% ($\rho = 0,0041$).

VERIFICAÇÕES

Verificação da punção de acordo com a NBR 6.118 (ABNT, 2014), sendo:

$F_{sd} = 6 \text{ ton}$ (valor da força por apoio dos montantes - ver Tabela 5)

$\mu = 0,8$ (coeficiente de atrito - ver Tabela 3)

$d = 0,12 \text{ m}$ (altura útil da armadura)

$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$ (resistência característica de compressão do concreto)

$\gamma_c = 1,4$ (coeficiente de minoração de resistência)

$d = 0,12 \text{ m}$ (altura útil da armadura)

$\rho_{x,y} = 0,0041 \text{ cm}^2/\text{m}$ (taxa de armadura transversal)

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

$$f_{cd} = \frac{30}{1,4}$$

$$f_{cd} = 21,43 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Sd} = \frac{F_{sd}}{\mu \cdot d}$$

$$\tau_{Sd} = \frac{6}{0,8 \cdot 0,12}$$

$$\tau_{Sd} = 0,625 \text{ MPa}$$

$$\rho = \sqrt{2 * \rho_{x,y}}$$

$$\rho = \sqrt{0,0082}$$

$$\rho = 0,00905$$

$$\tau_{Rd1} = 0,13 \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{20}{d}}\right) \cdot (100 \cdot \rho \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}}$$

$$\tau_{Rd1} = 0,13 \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{20}{12}}\right) \cdot (100 \cdot 0,0905 \cdot 30)^{\frac{1}{3}}$$

$$\tau_{Rd1} = 0,688 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Rd2} = 0,270 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \cdot f_{cd}$$

$$\tau_{Rd2} = 0,270 \cdot \left(1 - \frac{30}{250}\right) \cdot 21,43$$

$$\tau_{Rd2} = 5,09 \cdot \text{MPa}$$

$$\tau_{Rd1} < \tau_{Sd} \text{ OK}$$

$$\tau_{Rd2} < \tau_{Sd} \text{ OK}$$

Resumo geral do piso estruturalmente armado com telas soldadas	
Descrição	Valor
Espessura da placa	15 cm
Dimensões das placas	6,00 x 5,00 m
Tela Superior	Q283
Tela Inferior	Q335

Para facilitar o orçamento e diminuir custos de frete e fabricação de telas, as telas Q283 foram substituídas por duas telas Q138 e Q159, totalizando $A_s = 2,97 \text{ cm}^2$. Já as telas Q335 foram substituídas por duas telas de Q138 e Q196, totalizando $A_s = 3,34 \text{ cm}^2$.

APÊNDICE B – MEMORIAL DE CÁLCULO: PISO DE CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE AÇO

Cálculo para resistência do concreto com fibras metálicas, sendo:

$\sigma_{adm} = 4,2 \text{ MPa}$ (ver subseção 4.4.4 - dado fornecido pelo fornecedor das fibras obtido pelo ensaio da norma japonesa JSCE-SF4)

$h = 15 \text{ cm}$ (espessura da placa de concreto arbitrada)

$Re,3 = 37,4 \%$ (valor fornecido pelo fornecedor das fibras obtido pelo ensaio da norma japonesa JSCE-SF4)

$\gamma = 1,5$ (coeficiente de minoração de tensão)

$$\sigma_d = \frac{\sigma_{adm}}{\gamma}$$

$$\sigma_d = \frac{4,2}{1,5}$$

$$\sigma_d = 2,8 \text{ MPa}$$

$$M_{res} = \left(1 + \frac{Re,3}{100}\right) \cdot \frac{\sigma_d \cdot h^2}{6}$$

$$M_{res} = \left(1 + \frac{37,4}{100}\right) \cdot \frac{2,8 \cdot 15^2}{6}$$

$$M_{res} = 144,27 \text{ tf.cm/m}$$

$$M_{res} = 144,27 \text{ tf.cm/m} < 250,79 \text{ tf.cm/m}$$

Não atende ao M_{res} calculado no Apêndice A de 250,79 tf.cm/m gerado pelos esforços solicitantes. Próxima tentativa, alterando valor da espessura:

$h = 20 \text{ cm}$ (espessura da placa de concreto arbitrada pela segunda vez)

$$M_{res} = \left(1 + \frac{R_{e,3}}{100}\right) \cdot \frac{\sigma_d \cdot h^2}{6}$$

$$M_{res} = \left(1 + \frac{37,4}{100}\right) \cdot \frac{2,8 \cdot 20^2}{6}$$

$$M_{res} = 256,48 \text{ tf.cm/m}$$

$$M_{res} = 256,48 \text{ tf.cm/m} > 250,79 \text{ tf.cm/m} \text{ OK}$$

Atenda ao M_{res} calculado no Apêndice A de 250,79 tf.cm/m gerado pelos esforços solicitantes.

APÊNDICE C – MEMORIAL DE CÁLCULO: PISO DE CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE POLIPROPILENO

Cálculo para resistência do concreto com fibras de polipropileno, sendo:

$\sigma_{adm} = 3,72 \text{ MPa}$ (ver subseção 4.4.4 - dado fornecido pelo fornecedor das fibras obtido pelo ensaio da norma japonesa JSCE-SF4)

$h = 15 \text{ cm}$ (espessura da placa de concreto arbitrada)

$R_{e,3} = 47,9 \%$ (dado fornecido pelo fornecedor das fibras obtido pelo ensaio da norma japonesa JSCE-SF4)

$\gamma = 1,5$ (coeficiente de minoração de tensão)

$$\sigma_d = \frac{\sigma_{adm}}{\gamma}$$

$$\sigma_d = \frac{3,72}{1,5}$$

$$\sigma_d = 2,48 \text{ MPa}$$

$$M_{res} = \left(1 + \frac{R_{e,3}}{100}\right) \cdot \frac{\sigma_d \cdot h^2}{6}$$

$$M_{res} = \left(1 + \frac{47,9}{100}\right) \cdot \frac{2,48 \cdot 15^2}{6}$$

$$M_{res} = 137,55 \text{ tf.cm/m}$$

$$M_{res} = 137,55 \text{ tf.cm/m} < 250,79 \text{ tf.cm/m}$$

Não atende ao M_{res} calculado no Apêndice A de 250,79 tf.cm/m gerado pelos esforços solicitantes. Próxima tentativa, alterando valor da espessura:

$h = 20 \text{ cm}$ (espessura da placa de concreto arbitrada pela segunda vez)

$$M_{res} = \left(1 + \frac{R_{e,3}}{100}\right) \cdot \frac{\sigma_d \cdot h^2}{6}$$

$$M_{res} = \left(1 + \frac{47,9}{100}\right) \cdot \frac{2,48 \cdot 20^2}{6}$$

$$M_{res} = 244,53 \text{ tf.cm/m}$$

$$M_{res} = 244,53 \text{ tf.cm/m} < 250,79 \text{ tf.cm/m}$$

Não atende ao M_{res} calculado no Apêndice A de 250,79 tf.cm/m gerado pelos esforços solicitantes. Próxima tentativa, alterando valor da espessura pela terceira vez:

$h = 20,5 \text{ cm}$ (espessura da placa de concreto arbitrada pela terceira vez)

$$M_{res} = \left(1 + \frac{R_{e,3}}{100}\right) \cdot \frac{\sigma_d \cdot h^2}{6}$$

$$M_{res} = \left(1 + \frac{47,9}{100}\right) \cdot \frac{2,48 \cdot 20,5^2}{6}$$

$$M_{res} = 256,91 \text{ tf.cm/m}$$

$$M_{res} = 256,91 \text{ tf.cm/m} > 250,79 \text{ tf.cm/m} \text{ OK}$$

Atenda ao M_{res} calculado no Apêndice A de 250,79 tf.cm/m gerado pelos esforços solicitantes.