

**UNIVERSIDADE DE SOROCABA
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA (PROPG)
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PROCESSOS TECNOLÓGICOS
AMBIENTAIS**

Tiago da Silva Franco

**METODOLOGIA PARA REUSO DE ESTRUTURAS METÁLICAS DE
ARMAZENAGEM EM CENTROS LOGÍSTICOS DE DISTRIBUIÇÃO**

**Sorocaba/SP
2026**

Tiago da Silva Franco

**METODOLOGIA PARA REUSO DE ESTRUTURAS METÁLICAS DE
ARMAZENAGEM EM CENTROS LOGÍSTICOS DE DISTRIBUIÇÃO**

Dissertação apresentada à Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Processos Tecnológicos e Ambientais da Universidade de Sorocaba, como exigência parcial para obtenção do título de Mestre em Processos Tecnológicos Ambientais.

Orientadora: Prof. Dr. Daniel Bertoli Gonçalves

**Sorocaba/SP
2026**

Ficha Catalográfica

F897m Franco, Tiago da Silva
Metodologia para reuso de estruturas metálicas de armazenagem em centros logísticos de distribuição / Tiago da Silva Franco. -- 2026.
160 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Bertoli Gonçalves.
Dissertação (Mestrado em Processos Tecnológicos e Ambientais) -
Universidade de Sorocaba, Sorocaba, SP, 2026.

1. Logística. 2. Sustentabilidade. 3. Responsabilidade social da empresa.
4. Responsabilidade ambiental. I. Gonçalves, Daniel Bertoli, orient. II.
Universidade de Sorocaba. III. Título.

Tiago da Silva Franco

Orcid: <https://orcid.org/0009-0002-2366-7206>

**METODOLOGIA PARA REUSO DE ESTRUTURAS METÁLICAS DE
ARMAZENAGEM EM CENTROS LOGÍSTICOS DE DISTRIBUIÇÃO**

Dissertação aprovada como requisito parcial
para obtenção do grau de Mestre no
Programa de Pós-Graduação em Processos
Tecnológicos e Ambientais da Universidade
de Sorocaba.

Aprovado em: 18 de março de 2026

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Daniel Bertoli Gonçalves

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8418-4166>

Universidade de Sorocaba



Prof. Dr. Norberto Aranha

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1954-377X>

Universidade de Sorocaba



Prof. Dr. Benicezar Angelo Baldo

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3008-8731>

Universidade de Sorocaba

Dedico este trabalho, pesquisa e meu título a Deus, a minha esposa e filha e minha família, sem eles eu nada seria.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por todas as bênçãos consagradas a mim, por ser meu guia e luz em todos os caminhos da minha vida, me sustentando, guardando e abençoando sempre.

Agradeço à minha esposa e à minha filha por todo apoio, paciência, amor incondicional e compreensão nos momentos de desafios, em que foi necessária maior dedicação ao trabalho do que à atenção e presença no convívio familiar. Vocês são as minhas maiores bênçãos.

Agradeço à minha família por todo o caminho percorrido juntos, pelo apoio, pelos conselhos e pela motivação constante.

Agradeço a todos os professores do Programa de Pós-Graduação da Universidade de Sorocaba, pelo conhecimento transmitido e apoio, que tornaram possível a realização deste sonho.

Agradeço especialmente ao meu querido orientador, Dr. Daniel Bertoli Gonçalves, que, desde o início, acreditou em minha pesquisa e no meu potencial, orientando-me de forma brilhante, com direcionamentos precisos, e garantindo que chegaríamos juntos ao resultado deste trabalho.

A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original. O conhecimento, quando verdadeiramente acolhido, transforma não apenas a maneira como vemos o mundo, mas também a maneira como vemos a nós mesmos.

(Albert Einstein)

RESUMO

A logística desempenha um papel estratégico na competitividade empresarial, enfrentando no Brasil desafios estruturais como a forte dependência do modal rodoviário e os elevados custos operacionais. A expansão do comércio eletrônico e a complexidade da cadeia de suprimentos têm impulsionado a demanda por Centros de Distribuição e, conseqüentemente, por estruturas metálicas de armazenagem. Apesar de sua relevância, o ciclo de vida dessas estruturas tradicionalmente se encerra no descarte, uma prática que contraria os princípios da Logística Verde e da Economia Circular. Nesse contexto, o reuso surge como estratégia de elevada eficácia, ao preservar o valor incorporado nas estruturas, reduzir a necessidade de novos insumos e mitigar impactos ambientais associados à manufatura de novos equipamentos, conforme apontam abordagens contemporâneas de circularidade. Embora normas como a ABNT NBR 17150:2024 e ABNT NBR 8681:2004 estabeleçam rigorosos requisitos de segurança e projeto, a literatura científica carece de metodologias estruturadas que orientem o reuso desses ativos em novos projetos ou remanejamentos, garantindo a conformidade técnica. Nesse contexto, este estudo propôs e desenvolveu uma metodologia aplicada para o reuso de estruturas metálicas de armazenagem, integrando os princípios de sustentabilidade com os critérios de segurança estabelecidos pelas normas nacionais. A metodologia, fundamentada na análise normativa e testada por meio de estudos de caso, demonstrou ser robusta, aplicável e alinhada às necessidades do mercado. Os resultados evidenciaram ganhos expressivos, incluindo a redução de custos de investimento em até 78,3% em comparação com a aquisição de novas estruturas, além de garantir a segurança operacional e a conformidade normativa. A pesquisa contribui diretamente para o avanço acadêmico e a prática empresarial, fornecendo um modelo metodológico seguro para a gestão de ativos e promovendo o alinhamento efetivo entre eficiência logística e responsabilidade ambiental.

Palavras-chave: economia circular; logística, reuso; centros de distribuição; gestão de ativos logísticos.

ABSTRACT

Logistics plays a strategic role in business competitiveness, facing in Brazil structural challenges such as the strong dependence on road transportation and high operational costs. The expansion of e-commerce and the increasing complexity of supply chains have driven the demand for Distribution Centers and, consequently, for steel storage structures. Despite their relevance, the life cycle of these structures traditionally ends in disposal, a practice that contradicts the principles of Green Logistics and the Circular Economy. In this context, reuse emerges as a highly effective strategy, as it preserves the value embedded in the structures, reduces the need for new resources, and mitigates environmental impacts associated with the manufacturing of new equipment, as highlighted by contemporary circularity approaches. Although standards such as ABNT NBR 17150:2024 and ABNT NBR 8681:2004 establish strict safety and design requirements, the scientific literature still lacks structured methodologies to guide the reuse of such assets in new projects or relocations while ensuring technical compliance. In this context, this study proposed and developed an applied methodology for the reuse of steel storage structures, integrating sustainability principles with the safety criteria established by national standards. The methodology, grounded in normative analysis and tested through case studies, proved to be robust, applicable, and aligned with market needs. The results revealed significant gains, including reductions of up to 78.3% in investment costs compared to the acquisition of new structures, while ensuring operational safety and regulatory compliance. The research directly contributes to academic advancement and business practice by providing a reliable methodological model for asset management and promoting effective alignment between logistical efficiency and environmental responsibility.

Keywords: circular economy; logistics; reuse; distribution centers; logistics asset management.

IMPACTOS POTENCIAIS DA PESQUISA

A presente pesquisa, de natureza aplicada e tecnológica, teve como objetivo o desenvolvimento de uma metodologia estruturada para o reuso de estruturas metálicas de armazenagem em centros logísticos de distribuição, com base nos requisitos das normas ABNT NBR 17150:2024 e ABNT NBR 8681:2004. O estudo integra fundamentos de engenharia estrutural, logística e sustentabilidade, propondo um modelo técnico capaz de orientar processos de inspeção, análise, revalidação e reaproveitamento seguro desses ativos.

Os resultados obtidos demonstraram elevada aplicabilidade prática, com destaque para a redução de custos de investimento em até 78,3% em comparação à aquisição de estruturas novas, além da garantia de conformidade normativa e segurança operacional. A metodologia desenvolvida apresenta caráter replicável e potencial de adoção em diferentes contextos logísticos e industriais, contribuindo para a padronização de práticas técnicas no setor.

Do ponto de vista de impacto, a pesquisa evidencia contribuições relevantes em múltiplas dimensões. No âmbito econômico, promove a otimização do uso de ativos e a redução de investimentos. No campo tecnológico, introduz um modelo metodológico inovador para o reuso de estruturas metálicas. Em termos ambientais, reduz a geração de resíduos e a demanda por novos insumos, evitando o consumo energético associado à reciclagem siderúrgica e alinhando-se aos princípios da economia circular. No aspecto social, contribui para a segurança das operações logísticas e para a disseminação de práticas sustentáveis.

Adicionalmente, o estudo apresenta aderência às diretrizes da CAPES ao gerar um produto técnico-tecnológico com impacto mensurável e potencial de aplicação direta no setor produtivo. Sua contribuição está alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, especialmente aqueles relacionados à inovação, produção responsável e ação climática. Dessa forma, a pesquisa consolida-se como uma proposta relevante para a integração entre eficiência logística, segurança estrutural e sustentabilidade, com benefícios que extrapolam o ambiente acadêmico e alcançam a prática empresarial e industrial.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Cadeia de suprimentos imediata da empresa	23
Figura 2 – Exemplo de layout interno de um Centro de Distribuição.....	26
Quadro 1 – Tipos de estruturas metálicas de armazenagem	29
Figura 3 – Componentes do porta paletes conforme norma	31
Quadro 2 – Classes de porta-paletes.....	33
Figura 4 – Protetores de colunas instalados	36
Figura 5 – Folgas do corredor principal para um sistema bidirecional	37
Quadro 3 – Análise comparativa dos quatros tipos de estrutura metálica mais comuns em centros de distribuição no Brasil	40
Figura 6 – Fluxograma da metodologia de reuso de estruturas metálicas de armazenagem.....	41
Figura 7 – Fluxograma das fases do processo.....	42
Figura 8 – Etapas da fase de planejamento	44
Figura 9 – Etapas da fase de execução	51
Figura 10 – Fase de Análise: etapas.....	58
Figura 11 – Projeto <i>As-built</i> pós inspeção e análise.....	61
Figura 12 – Fase de conclusão: etapas	72
Figura 13 – Estruturas de armazenagem analisadas: estudo A.....	76
Figura 14 – Configurações dos módulos de armazenagem	76
Figura 15 – Perfis estruturais	76
Figura 16 – Desnível da estrutura	77
Figura 17 – Áreas de maiores desníveis da estrutura	78
Figura 18 – Tolerâncias de desnível: estudo A	78
Figura 19 – Junta de dilatação pilar alinhado com Rua 04.....	79
Figura 20 – Calços irregulares	79
Figura 21 – Verificação de inclinação e prumo das estruturas	80
Figura 22 – Tolerâncias de prumo.....	80
Figura 23 – Inclinação da estrutura	81
Tabela 1– Desaprumos medidos.....	81
Figura 24 – Verificação do torque dos chumbadores	82
Figura 25 – Verificação das placas de identificação.....	83
Figura 26 – Verificação do torque dos elementos de fixação	83
Figura 27 – Protetores de colunas de extremidade.....	84

Figura 28 – Protetores de Colunas.....	84
Figura 29 – Componentes danificados.....	85
Tabela 2 – Componentes ruas 01 a 11	86
Tabela 3 – Componentes ruas 12 a 17 L.E	86
Tabela 4 – Componentes ruas 17 L.D a 25 L.E	86
Tabela 5 – Componentes ruas 25 L.D a 36 L.E	86
Tabela 6 – Componentes ruas 37 a 42	87
Tabela 7 – Componentes ruas 43 a 49	87
Figura 30 – Componentes oxidados.....	88
Figura 31 – Pinos trava: ausentes.....	88
Figura 32 – Junções de colunas.....	89
Figura 33 – Longarinas apresentando flexo torção	89
Figura 34 – Plano de madeira com flexão excessiva	90
Figura 35 – Posição travamento superior.....	91
Figura 36 – Distribuição de distanciadores	92
Figura 37 – Distanciadores conforme e não conformes	93
Figura 38 – Vista frontal rua 36 L.D.....	93
Figura 39 – Rua 36 lado direito	94
Figura 40 – Estruturas de armazenagem analisadas	100
Figura 41 – Configurações dos módulos de armazenagem	100
Figura 42 – Verificação do desnível da estrutura	101
Figura 43 – Desnível da estrutura	101
Figura 44 – Tolerância T32 – FEM 9.831	102
Figura 45 – Medições de alinhamento geral da estrutura	103
Figura 46 – Alinhamento Hz/T36 em nível H02.....	104
Figura 47 – Tolerância HZ/T32.....	104
Figura 48 – Desvio de alinhamento LMT15.....	105
Figura 49 – Inclinação da estrutura	106
Figura 50 – Verificação de inclinação e prumo da estrutura	106
Figura 51 – Chumbadores das estruturas	107
Figura 52 – Verificação torque	108
Figura 53 – Contraventamento vertical	109
Figura 54 – Contraventamento horizontal	110
Figura 55 – Vigamentos superiores.....	110
Figura 56 – Contraventamentos Superiores.....	111

Figura 57 – Retentor de Pallets.....	112
Figura 58 – Plano H Mêsulas	112
Figura 59 – Componentes danificados.....	113
Tabela 8 – Componentes danificados	113
Figura 60 – Pinos trava ausentes.....	114
Figura 61 – Junções das colunas.....	115

LISTA DE SIGLAS

2D	Representação de projeto em duas dimensões
A1	Dimensão de folha para plotagem de projeto
A2	Dimensão de folha para plotagem de projeto
ABNT	Associação brasileira de normas técnicas
ABRLOG	Associação brasileira de logística
ARBL	Alta resistência e baixa liga
ART	Anotação de responsabilidade técnica
AUTOCAD	Software para desenho de projeto digital
CD	Centro de distribuição
CLM	Council of logistics management
CNT	Confederação nacional do transporte
CONAB	Companhia nacional de abastecimento
CREA	Conselho regional de engenharia e arquitetura
DWG	Drawing – formato de arquivo digital
ELS	Estado limite de serviço
ELU	Estado limite último
ESD	Desvio padrão máximo permissível
FEM	Federação europeia de movimentação de materiais
FIFO	First in, first out
FILO	First in, last out
IOT	Internet das coisas
LGV	Laser guided vehicle
LIFO	Last in, first out
MB	Martin Brower
mm	Milímetros
N/mm ²	Newton / milímetro quadrado
NBR	Norma brasileira
NM	Newton. Metro.

ODS	Objetivos de desenvolvimento sustentável.
PBA	Chumbador mecânico tipo parabolot
PDF	Portabel document format – formato de documento digital
PIB	Produto interno bruto
SKU	Stok keeping unit
STRAP	Software para cálculo estrutural digital.
TI	Tecnologia da informação.
TMS	Transportation management system
WMS	Warehouse management system

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVO...	18
2.1	Objetivo geral.....	18
2.2	Objetivos específicos.....	18
3	MÉTODO DE PESQUISA	19
4	REFERENCIAL TEÓRICO.....	21
4.1	A evolução histórica da logística: da sobrevivência à estratégia	21
4.2	Logística no Brasil	24
4.3	Centros de distribuição.....	25
4.4	Estruturas metálicas de armazenagem	27
4.5	Segurança em logística e armazenagem.....	33
4.6	Sustentabilidade industrial e logística: da economia linear à circular	37
5	DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA PROPOSTA	40
5.1	Definição do tipo de estrutura de armazenagem.....	40
5.2	Metodologia proposta	41
5.2.1	Fases da metodologia	41
5.2.2	Fase de planejamento	44
5.2.2.1	Etapa: Escopo de projeto	45
5.2.2.2	Etapa: Cronograma do projeto	46
5.2.2.3	Etapa: Plano de verificação da estrutura	48
5.2.2.4	Etapa: Agendamento do projeto	49
5.2.2.5	Etapa: Kick-off	50
5.2.3	Fase de execução	51
5.2.3.1	Etapa: Preparação de documentos	52
5.2.3.2	Avaliação e acompanhamento do processo	52
5.2.3.3	Etapa: Visita técnica para inspeção.....	54
5.2.3.4	Etapa: Inspeção e coleta de dados	55
5.2.4	Fase de Análise	58
5.2.4.1	Etapa: Análise da inspeção	59
5.2.4.2	Etapa: Elaboração de projetos	59
5.2.4.3	Etapa: Análise de capacidade de carga	62

5.2.4.4	Etapa: Análise de tolerâncias ABNT NBR 17150:2024 (parte 2).....	65
5.2.5	Fase de Conclusão.....	71
5.2.5.1	Etapa: laudo de análise da estrutura	72
5.2.5.2	Etapa: laudo de capacidade de cargas	73
5.2.5.3	Etapa: <i>databook</i> da análise	73
6	ESTUDOS DE CASO	74
6.1	Galpão logístico A	74
6.1.1	Análise da inspeção do Galpão A.....	75
6.1.1.1	Considerações sobre o primeiro estudo de caso.....	96
6.1.2	Galpão logístico B	97
6.2	Análise do sistema de armazenagem	98
6.3	Considerações sobre o segundo estudo de caso	117
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	118
	REFERÊNCIAS	119
	ANEXO A – LAUDO DE CAPACIDADE DE CARGA. ESTUDO DE CASO GALPÃO LOGÍSTICO A.....	121
	ANEXO B – LAUDO DE CAPACIDADE DE CARGA – ESTUDO DE CASO GALPÃO LOGÍSTICO B.....	140
	ANEXO C – PROJETO AS-BUILT. ESTUDO DE CASO GALPÃO LOGÍSTICO A	155
	ANEXO D – MAPEAMENTO. ESTUDO DE CASO GALPÃO LOGÍSTICO A.....	156
	ANEXO E – DESNÍVEL. ESTUDO DE CASO GALPÃO LOGÍSTICO A.....	157
	ANEXO F – PROJETO AS-BUILT. ESTUDO DE CASO GALPÃO LOGÍSTICO B	158
	ANEXO G – MAPEAMENTO E DESNÍVEL. ESTUDO DE CASO GALPÃO LOGÍSTICO B.....	159
	ANEXO H – MAPEAMENTO DIMENSIONAL. ESTUDO DE CASO GALPÃO LOGÍSTICO B	160

1 INTRODUÇÃO

Impulsionada pela necessidade fundamental de mover pessoas e recursos, a logística sempre esteve presente ao longo da história. Desde as migrações em busca de alimentos até a organização complexa das atividades militares, essa área evoluiu de uma prática instintiva para uma disciplina estratégica essencial. Conforme destacam autores como Bertaglia (2020) e Buller (2012), a logística moderna, com suas teorias e ferramentas, tem suas raízes no meio militar, especialmente após a Segunda Guerra Mundial, consolidando-se posteriormente no ambiente empresarial. A definição clássica do Council of Logistics Management (CLM), apresentada por Ballou (2007), que descreve a logística como o "processo de planejamento, implantação e controle do fluxo eficiente e eficaz de mercadorias, serviços e das informações relativas", reforça seu papel central na busca por diferenciais competitivos.

No contexto brasileiro, a logística enfrenta desafios históricos e estruturais. A forte dependência do modal rodoviário, que responde por aproximadamente 61% do transporte de cargas (CNT, 2019), contribui para custos logísticos que chegam a ser 12% a 13% do PIB, superando o patamar de economias mais desenvolvidas (Ballou, 2006; Novaes, 2007). Em meio a esse cenário, a crescente demanda por centros de distribuição (CDs), impulsionada pelo comércio eletrônico e pela expansão da produção agrícola, revela um avanço estrutural necessário, mas ainda insuficiente. A defasagem entre a capacidade de armazenagem e o volume da produção nacional (CONAB, 2023) evidencia a urgência por soluções que otimizem as operações e a infraestrutura logística.

É justamente dentro desses centros de distribuição, que as estruturas metálicas de armazenagem desempenham um papel chave no aproveitamento do espaço físico e na eficiência dos processos operacionais. Esses sistemas, que podem ser estáticos, dinâmicos ou automatizados, são fundamentais para o acondicionamento seguro de produtos e são regulamentados por normas rigorosas como a ABNT NBR 17150:2024 (partes 1 e 2) e a NBR 8681 (ABNT, 2004), que garantem sua segurança estrutural, estabilidade e capacidade de carga.

Por outro lado, apesar da evolução desses sistemas e da regulamentação rigorosa a seu respeito, o ciclo de vida dessas estruturas ainda se encerra com o descarte, um aspecto com grande potencial de impactos econômicos e ambientais

quando se considera a necessidade de sustentabilidade dos processos. A literatura acadêmica, embora rica em estudos sobre otimização, segurança e eficiência de novas estruturas, ainda carece de pesquisas aprofundadas sobre reciclagem e reuso de sistemas de armazenagem. Um vazio que oferece oportunidade para pesquisas que alinhem a logística com os objetivos de sustentabilidade dos processos.

É justamente nesta lacuna que este estudo se posiciona, propondo uma metodologia para o reuso de estruturas metálicas de armazenagem em novos projetos ou remanejamentos de centros logísticos de distribuição, capaz de garantir o cumprimento dos requisitos normativos da ABNT NBR 17150:2024 (partes 1 e 2) para a inspeção, classificação e revalidação de estruturas usadas, ao mesmo tempo em que reduz os impactos ambientais decorrentes do descarte das estruturas.

Embora o gerenciamento de estruturas metálicas descartadas possa ser efetuado de forma eficaz pela reciclagem siderúrgica, o presente estudo argumenta que o reaproveitamento direto (reuso) constitui uma alternativa preferível, conforme apontam autores com Santos *et al.* (2015) e Campello (2021). Essa superioridade reside, principalmente, na eliminação do consumo energético associado ao processo de refundição da reciclagem, um princípio fundamental da Economia Circular.

A Economia Circular é definida como um sistema industrial regenerativo por design, que busca substituir o modelo linear de “fim de vida” por um paradigma baseado na retenção contínua de valor. Conforme articulado pela Ellen MacArthur Foundation (2025), esse modelo prioriza estratégias que mantenham materiais, componentes e produtos em seu mais alto nível de utilidade pelo maior tempo possível. Assim, mecanismos como manutenção, reuso e remanufatura antecedem, em importância e efetividade, processos de reciclagem, uma vez que cada reinserção no ciclo produtivo pressupõe a preservação do valor incorporado durante a manufatura — energia, complexidade técnica e capital material.

O descarte, ao contrário, representa a ruptura completa do ciclo produtivo, eliminando totalmente o valor de uso do equipamento e ampliando a necessidade de extração de novos recursos naturais. Essa prática desloca os impactos ambientais para etapas anteriores da cadeia produtiva, tornando os sistemas logísticos e industriais mais dependentes de insumos primários e, portanto, menos sustentáveis, conforme argumenta Campello (2021). A reciclagem, embora ambientalmente mais adequada que o descarte, é considerada pela literatura especializada como uma estratégia de “loop inferior”. Isso ocorre porque o processo de refundição demanda

grande quantidade de energia, gera emissões associadas à transformação termoquímica e frequentemente reduz a qualidade ou integridade dos materiais, reintroduzindo-os ao ciclo produtivo em condições inferiores.

Nesse contexto, o reuso se destaca como a estratégia mais eficiente e coerente com os princípios estruturantes da Economia Circular. Segundo a Ellen MacArthur Foundation (2025), ao preservar a integridade física e funcional dos produtos, o reuso evita a perda de valor energético e material e prolonga significativamente a vida útil dos ativos, reduzindo a necessidade de fabricar novos equipamentos. No caso de estruturas metálicas de armazenagem, em particular, o reuso permite a continuidade operacional dos sistemas sem etapas intermediárias de degradação ou substituição de material, desde que sejam observados procedimentos normativos rigorosos de inspeção, classificação e revalidação. Dessa forma, o reuso constitui uma prática que simultaneamente reduz custos, diminui impactos ambientais e promove maior eficiência sistêmica, fortalecendo a convergência entre desempenho logístico e responsabilidade ambiental.

Além desta introdução, o texto está organizado em cinco seções. A Seção 2 apresenta os objetivos da pesquisa, seguida, na Seção 3, pela descrição do método empregado. A Seção 4 expõe o referencial teórico-conceitual que fundamenta o estudo. Na Seção 5, desenvolve-se a proposta central, complementada por dois estudos de caso que demonstram a aplicação da metodologia elaborada. Por fim, apresentam-se as principais conclusões, seguidas das referências e dos anexos.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

Desenvolver uma metodologia para reuso de estruturas metálicas de armazenagem em novos projetos ou remanejamentos de centros logísticos de distribuição, visando garantir o cumprimento dos requisitos normativos nacionais.

2.2 Objetivos específicos

- a) Realizar uma revisão da literatura e de normas técnicas nacionais (ABNT NBR) que abordam sobre as estruturas metálicas para armazenagem, bem como sua aplicação, requisitos de projeto e instalação destes sistemas de armazenagem em centros logísticos de distribuição;
- b) Selecionar um tipo específico de estrutura metálica de armazenagem para desenvolvimento da metodologia e processo de reutilização desta pesquisa;
- c) Desenvolver e apresentar uma metodologia com etapas e fases do processo, que cumpram os requisitos normativos nacionais, que garanta a segurança na reutilização de estruturas de armazenagem e cumpra as necessidades das empresas em relação a menores custos e menor tempo de implantação.

3 MÉTODO DE PESQUISA

A presente pesquisa adota uma abordagem metodológica que combina a natureza qualitativa e exploratória com o desenvolvimento de um produto técnico-aplicado (a metodologia de reuso). O estudo se estrutura em três fases principais: Revisão Bibliográfica e Documental, Desenvolvimento da Metodologia e Aplicação Prática (Estudo de Caso).

O trabalho classifica-se como uma pesquisa aplicada, pois tem como objetivo desenvolver uma metodologia e um processo com utilidade prática imediata para o setor de logística, visando a resolução de um problema técnico-econômico (o descarte de estruturas metálicas). A abordagem predominante é qualitativa, focando na compreensão aprofundada da lacuna normativa e na criação de um processo que garanta a segurança e a sustentabilidade.

Quanto aos objetivos, a pesquisa é essencialmente exploratória e descritiva. É exploratória no sentido de buscar novos conhecimentos sobre a viabilidade e os procedimentos normativos para o reuso de estruturas metálicas, uma área onde a literatura acadêmica é escassa. É descritiva ao analisar e detalhar os requisitos das normas técnicas ABNT NBR 17150:2024 (partes 1 e 2) e NBR 8681 (ABNT, 2004), classificando as tipologias de estruturas e seus requisitos de segurança.

Os procedimentos técnicos adotados para a consecução dos objetivos específicos (Seção 2) foram estruturados em três etapas sequenciais: a Fundamentação Teórica e Normativa; o Desenvolvimento da Metodologia Proposta; e, por fim, o Estudo de Caso para a aplicação prática e teste da metodologia.

Fundamentação Teórica (levantamento Bibliográfico): Foi realizada uma pesquisa extensiva da literatura sobre Logística Empresarial, Gestão da Cadeia de Suprimentos, Sustentabilidade e Economia Circular, com ênfase na superioridade do reuso frente à reciclagem, conforme argumentado por Santos *et al.* (2015) e Campello (2021).

Análise Normativa (Pesquisa Documental): O foco central da pesquisa documental foi a análise das normas técnicas brasileiras (ABNT NBR) aplicáveis a estruturas metálicas de armazenagem, incluindo ABNT NBR 17150:2024 (partes 1 e 2), para projeto e tolerâncias e a NBR 8681 (ABNT, 2004), para a classificação de ações e estados limites. Esta análise foi fundamental para identificar os requisitos obrigatórios de inspeção e revalidação de segurança para estruturas usadas.

Desenvolvimento da Metodologia Proposta: a metodologia de reuso é o produto central deste trabalho e foi desenvolvida com base nas seguintes etapas:

- a) Seleção do Objeto de Estudo: Foi selecionado um tipo específico de estrutura metálica de armazenagem (conforme Objetivo Específico) para o qual a metodologia foi detalhada. A escolha considerou a prevalência de uso em Centros de Distribuição no Brasil (ex: Porta-Paletes Classe 400);
- b) Definição das Etapas: O processo de reuso foi dividido em fases lógicas e sequenciais: a) Inspeção Inicial e Classificação, b) Análise Estrutural e Revalidação (Engenharia), c) Recondicionamento e d) Remontagem e Certificação;
- c) Garantia Normativa: Em cada fase, foram incorporados os requisitos da ABNT NBR 17150:2024 (partes 1 e 2) (tolerâncias de montagem, prumo e deformação) e da ABNT NBR 8681:2004 (consideração de novas cargas) para garantir a segurança da estrutura reutilizada, equiparando-a a uma nova.

Estudo de Caso (Aplicação Prática): Para testar e demonstrar a aplicabilidade da metodologia desenvolvida, foram realizados dois estudos de caso. Esta etapa final teve como propósito a verificação, ao aplicar as etapas da metodologia em situações reais de descarte/remanejamento de Centros Logísticos de Distribuição; e a mensuração, que buscou demonstrar os potenciais benefícios práticos da metodologia em termos de redução de custos, tempo de implantação e impacto ambiental (evitando o consumo energético da reciclagem).

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 A evolução histórica da logística: da sobrevivência à estratégia

A necessidade de deslocamento e movimentação é intrínseca à história da civilização. Desde os primórdios, movimentos migratórios foram impulsionados pela busca de alimentos e insumos essenciais para a sobrevivência e manutenção da vida humana. Com a evolução social, o homem percebeu que não bastava apenas encontrar recursos; era preciso transportá-los e armazená-los para garantir sua disponibilidade no local e momento adequados. Essa lógica aplicou-se tanto aos alimentos quanto aos materiais construtivos, que precisavam ser extraídos da natureza e movidos até os assentamentos para a edificação de abrigos e proteções.

Essas atividades primitivas, frutos da necessidade humana, evoluíram gradativamente até constituírem a complexa área de estudos que hoje conhecemos como logística. Segundo Bertaglia (2020), a logística e as cadeias de suprimentos acompanham a humanidade desde as suas origens, fundamentadas na movimentação de pessoas e bens. A invenção da roda, por exemplo, permanece como um marco histórico comprobatório dessa trajetória, sendo uma das inovações que mais revolucionou o transporte e a capacidade de movimentação na história.

Embora a prática seja milenar, a estruturação teórica da área deve muito ao contexto bélico. A esfera militar é reconhecida como o berço dos estudos logísticos, onde o conceito amadureceu antes de se tornar a ferramenta estratégica vital para as empresas modernas. De acordo com Buller (2012), a logística como disciplina formal teve sua origem consolidada no meio militar, especificamente no período pós-Segunda Guerra Mundial, momento em que a eficiência na movimentação de tropas e suprimentos se provou decisiva.

Grande parte das ferramentas e teorias logísticas atuais teve seu desenvolvimento inicial nas operações e atividades militares. A complexidade do envio de tropas e o vasto distanciamento geográfico entre as áreas de combate e os países de origem exigiam um planejamento rigoroso. Garantir que suprimentos essenciais, armamentos e munições chegassem a tempo e em condições adequadas para manter as tropas prontas para o serviço militar foi a verdadeira escola prática que moldou as estratégias e o conhecimento fundamental sobre logística.

O reconhecimento dessa importância operacional levou à formalização do estudo da área. Após o término da Segunda Guerra Mundial, esse movimento culminou na fundação do Council of Logistics Management (CLM), em 1962. O objetivo primordial do CLM era justamente incentivar e promover o estudo e o ensino da logística, reconhecendo-a como uma disciplina estratégica.

A partir da evolução desses estudos e práticas, uma definição clássica e abrangente sobre o que é a logística foi consolidada na literatura acadêmica. Ballou (2007) a apresenta como:

A Logística é um processo de planejamento, implantação e controle do fluxo eficiente e eficaz de mercadorias, serviços e das informações relativas desde o ponto de origem até o ponto de consumo com o propósito de atender as exigências dos clientes (Ballou, 2007).

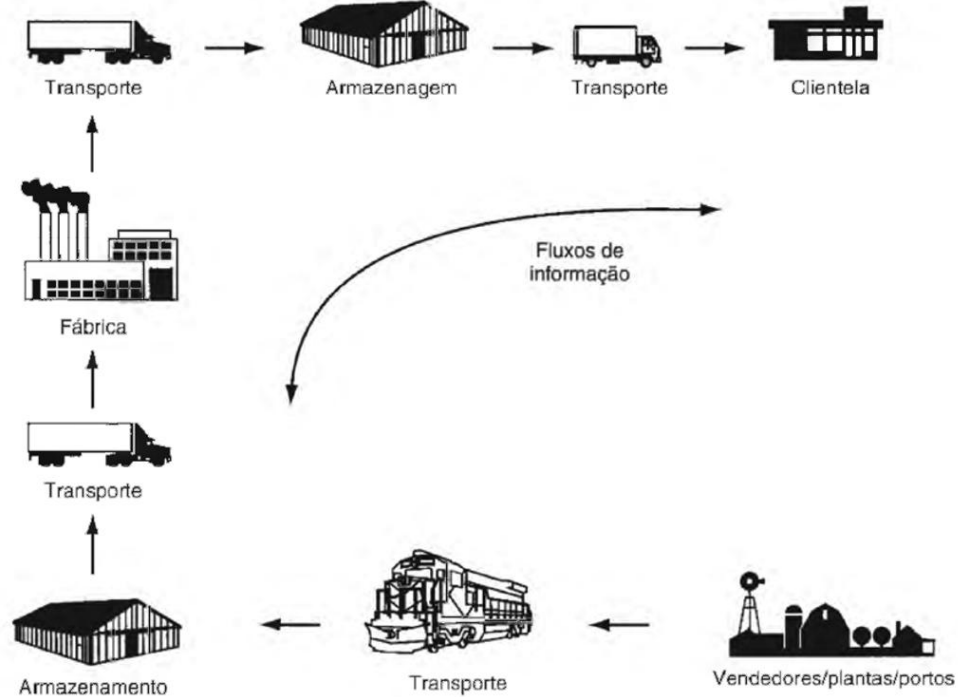
Com base nesta definição robusta, a logística transcendeu o ambiente militar, assumindo um papel estratégico e gerencial cada vez mais relevante no setor corporativo. As empresas passaram a dedicar atenção e recursos a esta área, percebendo que a aplicação eficiente de seus princípios poderia gerar um diferencial competitivo significativo no mercado. Assim como as operações militares garantiam que materiais e insumos chegassem ao local certo e no tempo exato para suprir as necessidades das tropas, o empenho empresarial abriu um novo panorama da logística, focando na satisfação do cliente e na otimização de toda a cadeia de valor.

Surge então a Logística empresarial, um conceito mais aplicado da logística nas empresas, agora com todas as interações intersetoriais para atingir o principal objetivo de satisfação do cliente, e como um marcante traço evolutivo temos o conceito de cadeia de suprimentos que de acordo com (Ballou, 2007):

É um conjunto de atividades funcionais (transportes, controle de estoques, etc.) que se repetem inúmeras vezes ao longo do canal pelo qual matérias-primas vão sendo convertidas em produtos acabados, aos quais se agrega valor ao consumidor. Uma vez que as fontes de matérias-primas, fábricas e pontos de vendas em geral não tem a mesma localização e o canal representa uma sequência de etapas de produção, as atividades.” logísticas podem ser repetidas várias vezes até um produto chegar ao mercado (Ballou, 2007).

A Figura 1 ilustra a formação da cadeia de suprimentos empresarial.

Figura 1 – Cadeia de suprimentos imediata da empresa



Fonte: adaptado de Ballou (2007).

De acordo com Carvalho (2002), a logística empresarial pode ser dividida em dois grupos de atividades essenciais: principais e secundárias. As atividades principais, cruciais para o fluxo de valor, incluem a realização do transporte, a manutenção de estoques e o processamento de pedidos. Já as atividades secundárias complementam e apoiam o sistema, englobando a armazenagem, o manuseio de materiais, a embalagem, as aquisições, a programação de produtos e os sistemas de informação.

A atuação da logística empresarial e a gestão da cadeia de suprimentos foram significativamente ampliadas e evoluíram com a intensa interação e os novos processos trazidos pelos sistemas de informação e, subsequentemente, pela tecnologia da informação (TI), especialmente a partir da década de 90 (Ballou, 2007). Atualmente, a logística empresarial pode ser categorizada em quatro processos principais que cobrem toda a cadeia: logística de suprimentos, logística de produção, logística de distribuição e transporte e a logística reversa. Esta última, em particular, possui alinhamento direto com os objetivos de sustentabilidade e economia circular, focando no retorno de produtos e materiais (Silva; Godoy Júnior, 2023).

Dentro deste panorama de processos logísticos, o presente trabalho irá se concentrar na armazenagem de materiais. O objetivo é propor uma solução mais sustentável e alinhada com os princípios da economia circular, especificamente no contexto dos sistemas de armazenagem utilizados em centros de distribuição e operações logísticas.

4.2 Logística no Brasil

A logística no Brasil apresenta uma trajetória histórica marcada por desafios estruturais e por um processo de evolução que acompanha tanto o desenvolvimento econômico nacional quanto as transformações tecnológicas e industriais globais. Desde a década de 1950, com o fortalecimento do setor rodoviário como principal modal de transporte, até a contemporaneidade, observa-se uma forte dependência de modais específicos, resultando em custos elevados e em limitações na integração logística nacional (Fleury; Wanke; Figueiredo, 2000).

Segundo dados da Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2019), aproximadamente 61% da matriz de transporte de cargas brasileira está baseada no modal rodoviário, enquanto o ferroviário participa com 20,7%, o aquaviário com 13,6% e outros modais representam apenas 4,6%. Esta concentração reforça uma estrutura logística vulnerável, dependente de rodovias muitas vezes em condições precárias de conservação.

Além da questão modal, outro aspecto fundamental da logística brasileira refere-se ao custo logístico em relação ao Produto Interno Bruto (PIB). Estimativas apontam que os custos logísticos do Brasil alcançam em média 12% a 13% do PIB, valores superiores aos observados em economias mais desenvolvidas, como os Estados Unidos, em torno de 8% (Ballou, 2006; Novaes, 2007). Essa diferença expressa a necessidade de maior eficiência na gestão logística e no planejamento de infraestrutura.

No contexto atual, a logística brasileira não pode ser analisada apenas sob a ótica dos modais de transporte. O crescimento da demanda por armazenagem e centros de distribuição (CDs) desempenha papel central na eficiência logística, especialmente com o avanço do comércio eletrônico e a ampliação das cadeias de suprimentos. Segundo relatório da Associação Brasileira de Logística (ABRALOG, 2023), a Área Bruta Locável (ABL) de centros de distribuição no Brasil cresceu

significativamente nos últimos anos, passando de 12 milhões de m² em 2018 para aproximadamente 22 milhões de m² em 2024, indicando um avanço estrutural que acompanha o aumento da demanda por serviços de estocagem e movimentação.

Paralelamente, o setor agrícola, um dos pilares da economia nacional, depende fortemente de estruturas de armazenagem para escoar a produção. Dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2023) indicam que a capacidade estática de armazenagem no Brasil passou de 180 milhões de toneladas em 2018 para cerca de 222 milhões em 2024, o que representa uma expansão relevante, mas ainda insuficiente frente ao crescimento da safra nacional, que ultrapassou 320 milhões de toneladas em 2023.

A defasagem entre a produção agrícola e a capacidade de armazenagem é um dos maiores gargalos da logística nacional, levando a perdas na cadeia produtiva e ao aumento dos custos. A integração entre transporte, armazenagem e centros de distribuição é, portanto, essencial para o fortalecimento da logística no Brasil, alinhando-se a práticas mais modernas de gestão da cadeia de suprimentos e contribuindo para a competitividade internacional.

Nesse sentido, observa-se que a evolução da logística brasileira caminha em direção a uma estrutura mais complexa e integrada, que incorpora conceitos de tecnologia da informação, automação de processos, economia circular e sustentabilidade, mas que ainda convive com desafios históricos, como a concentração modal e a insuficiência de infraestrutura. A compreensão desta trajetória é fundamental para a proposição de políticas públicas, investimentos privados e estratégias empresariais, nesta esfera temos um papel de destaque para ações relacionadas aos centros logísticos de distribuição.

4.3 Centros de distribuição

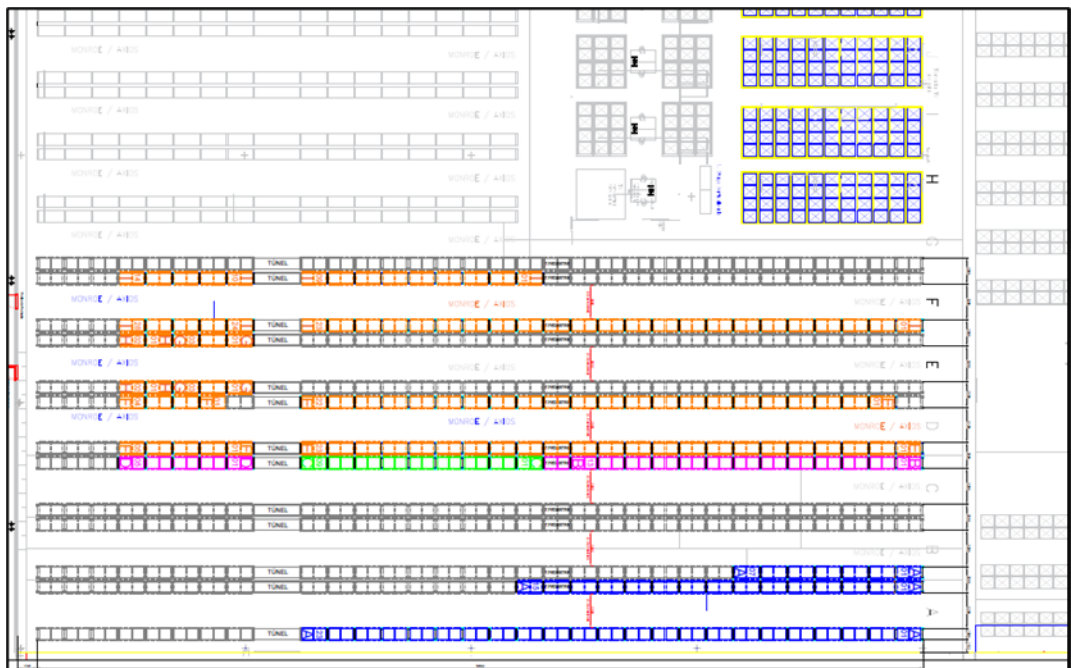
Os centros de distribuição (CDs) são fundamentais na cadeia de suprimentos contemporânea, atuando como elo entre produção e consumo ao facilitar o fluxo de materiais, agregar valor por meio de serviços logísticos e assegurar níveis adequados de disponibilidade de produtos ao cliente final. Historicamente associados à função de armazenagem, os CDs evoluíram — passo a passo — para complexas instalações que combinam armazenagem, movimentação, consolidação e desagregação de cargas, cross-docking, gestão de devoluções e serviços de valor agregado, assumindo

papel estratégico nas decisões de localização, custo e nível de serviço das empresas (Ballou, 2006; Bowersox; Closs; Cooper, 2013; Christopher, 2016).

O centro de distribuição pode ser definido como a instalação destinada a receber, armazenar temporariamente, preparar (picking/packing) e encaminhar produtos aos pontos de consumo ou a outros elos da cadeia logística. Suas funções essenciais incluem: recebimento e inspeção de mercadorias; estocagem e controle de inventário; separação e consolidação de pedidos; expedição; gestão de devoluções (reverse logistics); e execução de serviços de valor agregado (kitting, etiquetagem, montagem leve).

O desempenho operacional de um CD é resultado direto do projeto do seu layout e dos processos realizados. Configurações típicas incluem áreas definidas para recebimento, inspeção, armazenagem (racks/pallets), zonas de picking, embalagem e expedição. O arranjo físico busca minimizar deslocamentos, maximizar a densidade de estocagem e garantir segurança e ergonomia nas operações. A Figura 2 apresenta um exemplo de layout convencional de centro de distribuição, em formato de desenho técnico 2D representando as ruas de estruturas do tipo porta paletes com a vista de elevação superior, evidenciando as áreas operacionais dos módulos de armazenagem.

Figura 2 – Exemplo de layout interno de um Centro de Distribuição



Fonte: elaboração própria.

A adoção de tecnologias de suporte, como sistemas WMS (Warehouse Management System) e TMS (Transportation Management System), bem como automação de picking (*pick-to-light*, *voice picking* e sistemas automatizados de armazenagem), está diretamente relacionada ao aumento da produtividade e à redução de erros (Morais, 2021).

Os CDs não são apenas depósitos, pois atuam como instrumentos estratégicos para gestão de níveis de estoque, redução de lead times, centralização de serviços pós-venda e suporte à segmentação de mercado. A decisão sobre quantos CDs ter e onde implantá-los envolve *trade-offs* entre custo de transporte, custo de estoque e nível de serviço desejado.

Os centros de distribuição, ao longo de sua evolução, evoluíram de espaços de armazenagem estática a plataformas dinâmicas de serviço logístico, essenciais para a operação eficiente das cadeias de suprimentos. Sua correta concepção integrando layout, processos, tecnologia e indicadores é determinante para que empresas alcancem níveis competitivos de serviço, ao mesmo tempo em que atendem exigências crescentes de sustentabilidade e adaptabilidade a demandas externas. As estruturas de armazenagem são importantes sistemas de armazenagem utilizados no acondicionamento dos produtos paletizados que são armazenados nestes centros de distribuição.

4.4 Estruturas metálicas de armazenagem

As estruturas metálicas de armazenagem são elementos essenciais no contexto da logística moderna, permitindo o melhor aproveitamento do espaço físico e a eficiência nos processos de movimentação e estocagem de materiais. Fabricadas a partir de perfis metálicos de aço do tipo ARBL (alta resistência e baixa liga), obtidos pelo processo de perfilação a frio, tais estruturas vêm sendo constantemente aprimoradas em função das exigências crescentes dos sistemas logísticos e da necessidade de maior flexibilidade e automação nos centros de distribuição. Segundo Santos (2019), a utilização de estruturas metálicas está diretamente ligada ao aumento da capacidade de armazenagem e à otimização do fluxo de materiais, tornando-se elemento estratégico na cadeia de suprimentos.

A literatura especializada (Ballou, 2006; Bowersox; Closs; Cooper, 2013; Carneiro *et al.*, 2022) aponta que as estruturas metálicas de armazenagem podem ser classificadas em diferentes tipologias, de acordo com sua função, nível de automação e dinâmica operacional.

As **estruturas estáticas** são aquelas em que os paletes permanecem alocados em posições fixas durante o período de estocagem, exigindo a utilização de equipamentos de movimentação, como empilhadeiras, para inserção e retirada. Esse modelo é amplamente utilizado em armazéns convencionais devido ao seu custo relativamente baixo e à facilidade de implementação (Santos, 2019).

As **estruturas dinâmicas** são aquelas em que os paletes se deslocam por meio de pistas de roletes, o que facilita o fluxo de materiais e promove a redução do tempo de movimentação. Esse tipo de solução é frequentemente adotado em operações de alta rotatividade, sendo compatível com o sistema FIFO (*first in, first out*) (Bowersox; Closs; Cooper, 2013).

As **estruturas automatizadas** destinadas a equipamentos automáticos ou autônomos, representam uma evolução significativa na área da armazenagem, incorporando tecnologias da Indústria 4.0. Nesse sistema, a movimentação é realizada por equipamentos automatizados, como transelevadores e shuttles, dispensando a atuação direta do operador humano. Segundo Carneiro *et al.* (2022), tais estruturas permitem maior controle, rastreabilidade e integração digital da operação, sendo aplicadas principalmente em grandes centros de distribuição de empresas multinacionais.

O Quadro 01 ilustra os principais tipos de estruturas metálicas de armazenagem fabricadas atualmente e suas aplicações:

Quadro 1 – Tipos de estruturas metálicas de armazenagem

IMAGEM	ESTRUTURA	DESCRIÇÃO
	Porta Paletes	Alta seletividade de Sku's e variedade de acessórios
	Drive – in / Drive-thru	Alta densidade de SKU's Drive-in –LIFO Drive-thru –FIFO
	Dinâmico / Push-back	Deslocamento dos paletes sobre pistas de roletes Dinâmico – FIFO Push back - FILO
	Automáticos	Operação por equipamentos autônomos ou robôs: - Transelevador - Carros Shuttle - Robos LGVs

Fonte: adaptado de Mecalux [2025].

O projeto de sistemas de armazenagem, especificamente as estruturas estáticas tipo porta-paletes, deve seguir rigorosos padrões técnicos que abrangem segurança e eficiência. Tais diretrizes são detalhadas na norma NBR 17150 (ABNT, 2024a; ABNT, 2024b) “Sistemas de armazenagem, estrutura de armazenagem estática tipo porta-paletes”, que estabelece os requisitos mínimos para garantir a integridade dos trabalhadores, equipamentos e produtos.

A norma está estruturada em duas partes principais, conforme detalhado a seguir:

Parte 1: Requisitos para projeto estrutural

A primeira parte da norma está organizada em 13 capítulos e 10 anexos, e concentra-se nos aspectos de engenharia e dimensionamento, fornecendo a base para o projeto seguro da estrutura:

[...] as especificações para projeto estrutural, incluindo resistência, estabilidade, dimensionamento dos elementos principais (montantes, longarinas, contraventamentos) bem como cálculo de cargas estáticas, dinâmicas e de impacto (ABNT, 2024a).

Parte 2: Tolerâncias, deformações e folgas para projetos

A segunda parte da norma está organizada em 8 capítulos e 9 anexos, e aborda os critérios de fabricação e as condições operacionais que a estrutura deve atender após a montagem e durante o uso:

[...] trata das tolerâncias de fabricação, deformações previstas sob carga, folgas operacionais, prumo/verticalidade, prumo após montagem, deslocamentos admissíveis, interações com piso, e define classes de porta-paletes com diferentes exigências (ABNT, 2024b).

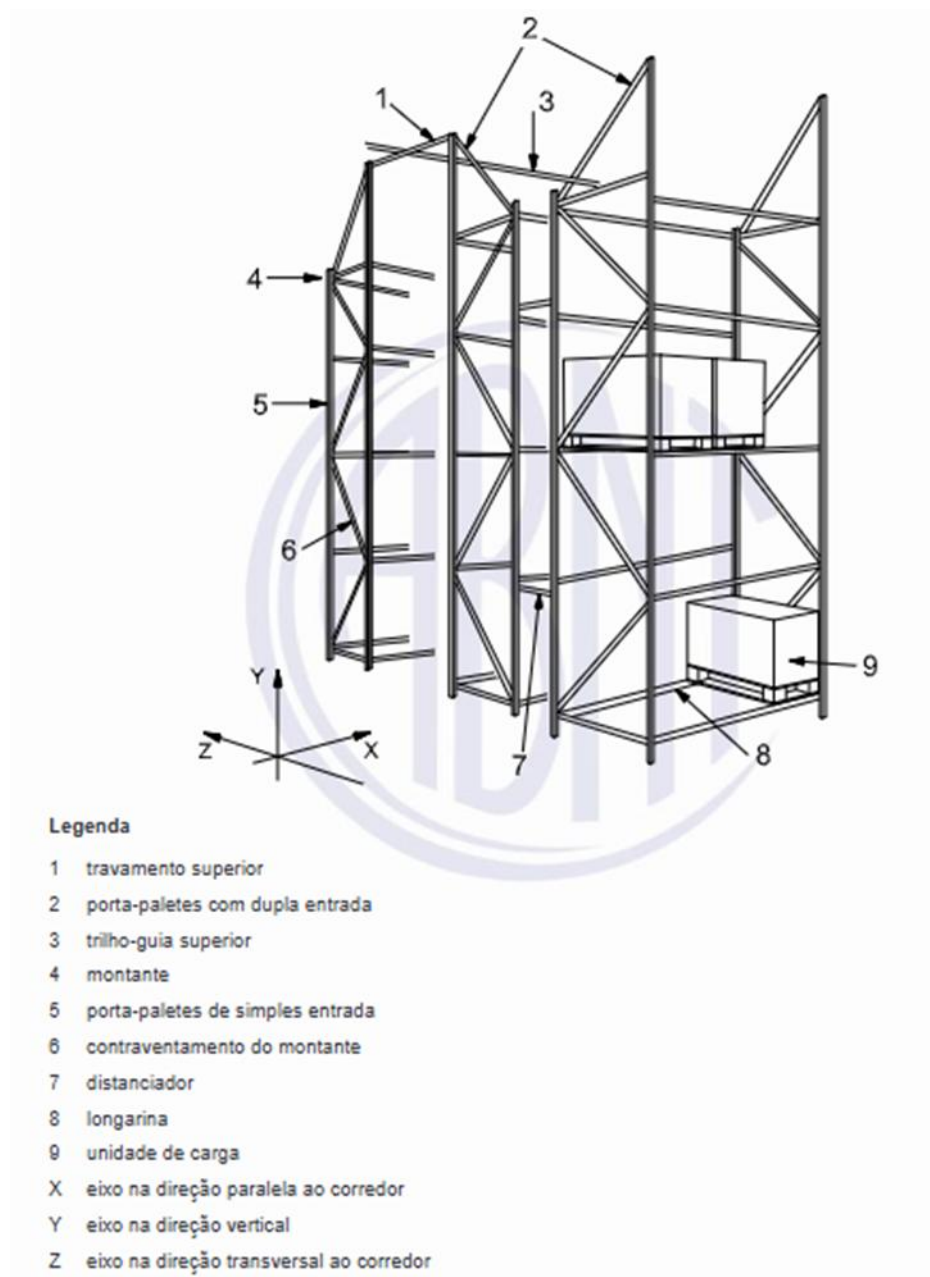
Visto que ambas as partes desta norma abordam os requisitos e diretrizes para projetos e instalações de estruturas tipo porta paletes, esta pesquisa procurou focar nos requisitos que mais se aplicam como referência para o reuso de estruturas, iniciando pela definição de porta paletes:

Sistemas de armazenagem tipo porta paletes são estruturas de apoio para a armazenagem de mercadorias em armazéns. Os porta paletes são montados a partir de componentes de aço incluindo os montantes verticais, sendo cada um formado por duas colunas contraventadas entre si, por vigas, comumente denominadas longarinas, e podem ter planos de apoio colocados sobre a longarinas. São utilizadas ligações especiais entre as longarinas e colunas e o sistemas de contraventamento, de modo a criar uma estrutura tridimensional estável, formando corredores que permitam o acesso a mercadorias (ABNT, 2024a, p. xiii).

Conforme a definição supracitada, os principais componentes de uma estrutura de armazenagem do tipo porta paletes, são as colunas contraventadas por travessas e diagonais formando os montantes, fixados ao solo por sapatas com chumbadores

mecânicos, para formação dos módulos de armazenagem, e os pares de longarinas (frente e fundo) fixadas às colunas por conectores engastados por meio das garras e travados por pinos trava. Estes componentes formam um módulo de armazenagem da estrutura, e sendo reproduzidos sequencialmente formam uma rua de estruturas porta paletes, como ilustra a figura 3.

Figura 1 – Componentes do porta paletes conforme norma



Fonte: ABNT (2024a).

Para a presente pesquisa, foram selecionados por critério de relevância cinco capítulos e um anexo da parte 1 da NBR 17150 (ABNT, 2024a), detalhados a seguir:

- a) Capítulo 5 – Requisitos para Projeto Estrutural: Define as exigências gerais e as condições de carga (estáticas, dinâmicas e de impacto) que devem ser consideradas no projeto dos sistemas porta-paletes, priorizando a segurança estrutural;
- b) Capítulo 6 – Dimensionamento Estrutural: Foca nos critérios detalhados para o dimensionamento dos componentes estruturais (montantes, longarinas e contraventamentos), correlacionando as cargas aplicadas com os materiais utilizados;
- c) Capítulo 7 – Estabilidade e Segurança Estrutural: Trata especificamente da estabilidade global da estrutura, incluindo a análise de esforços e a verificação de segurança contra possíveis falhas;
- d) Capítulo 9 – Análise Estrutural: Aborda os procedimentos de cálculo para a análise estrutural e dos componentes que compõem o sistema;
- e) Anexo C – Equações Aproximadas para o Cálculo...: apresenta um exemplo prático de aplicação dos cálculos estruturais de uma estrutura porta-paletes, utilizando o método de simulação para dimensionamento na direção do corredor.

Da parte 2 da NBR 17150 (ABNT, 2024b), que detalha os requisitos de qualidade, montagem e uso da estrutura, sendo particularmente relevante para a avaliação de sistemas instalados e o reuso de componentes, foram selecionados quatro capítulos por critério de relevância (Capítulos 4, 5, 6 e 7), detalhados a seguir:

- a) Capítulo 4 – Classes de Porta-Paletes: Este capítulo é crucial, pois define diferentes classes de porta-paletes baseadas no tipo de equipamento de movimentação e na largura dos corredores, estabelecendo os requisitos específicos e as tolerâncias dimensionais para cada tipo, conforme o Quadro 2:

Quadro 2 – Classes de porta-paletes

Classe	Descrição do Sistema	Exigências
Classe 100	Transelevadores e corredores muito estreitos.	Possui as exigências mais rigorosas de prumo e tolerâncias.
Classe 300	Corredores muito estreitos com empilhadeiras especializadas.	Tolerâncias rigorosas devido à precisão da operação.
Classe 400	Corredor largo ou combinado.	Permite folgas maiores, sendo o tipo mais comumente instalado em centros de distribuição logística.

Fonte: adaptado de ABNT (2024b).

Capítulos 5, 6 e 7 (Tolerâncias Dimensionais e Operacionais): focam nos critérios de tolerâncias para diversos aspectos (piso, alinhamento, nivelamento e prumo) para as classes abordadas na norma.

Com o objetivo de avaliar sistemas existentes, a pesquisa dedica atenção especial aos requisitos da Classe 400, a mais comum em centros logísticos, conforme estabelecido no Capítulo 5 da norma:

- a) 5.1 – Tolerâncias de Piso: Define as tolerâncias de nivelamento, como o Desvio Padrão Máximo Permissível (ESD), calculadas em uma grade de 3 metros para pisos internos horizontais. Estas tolerâncias são fundamentais para a estabilidade geral da estrutura.
- b) 5.2 – Tolerâncias de Montagem: Apresenta as diretrizes e os desvios máximos permitidos para as estruturas na condição descarregada, após a montagem.

Este capítulo é de grande importância para esta pesquisa, pois as definições sobre desvios de alinhamento, prumo e flexão máxima admissível podem ser aplicadas à avaliação de estruturas desmontadas e remontadas (reutilizadas).

Todas as definições de valores e desvios máximos admissíveis podem ser consultadas em tabelas e quadros de referência presentes na referida norma.

4.5 Segurança em logística e armazenagem

As estruturas metálicas de armazenagem desempenham um papel fundamental na logística moderna, proporcionando soluções eficientes para o armazenamento de materiais e produtos. Entretanto, sua segurança é uma

preocupação constante, dada a complexidade dos sistemas envolvidos e os potenciais riscos associados. A NBR 8681 (ABNT, 2004), intitulada "Ações e Segurança nas Estruturas – Procedimento", estabelece os procedimentos e as diretrizes essenciais para garantir a integridade e segurança dessas estruturas, integrando os requisitos da ABNT NBR 17150:2024 (partes 1 e 2), intitulada "Sistemas de armazenagem, estrutura de armazenagem estática tipo porta-paletes" configuram assim requisitos abrangentes para garantia da segurança em logística e armazenagem aplicadas as estruturas.

A NBR 8681 (ABNT, 2004) padroniza a forma como as ações que atuam sobre as estruturas são classificadas e combinadas. Tais ações são categorizadas de acordo com a sua natureza e permanência ao longo do tempo:

- a) **Ações Permanentes:** Envolvem o peso próprio da estrutura e quaisquer cargas que atuem de forma essencialmente fixa e contínua ao longo de sua vida útil (ex.: elementos construtivos não estruturais);
- b) **Ações Variáveis:** São aquelas cuja intensidade e posição mudam significativamente com o tempo, como as cargas de uso (pessoas, mercadorias, veículos), o vento e as variações térmicas;
- c) **Ações Excepcionais:** Referem-se a eventos de ocorrência rara e curta duração, mas de alta intensidade, que podem comprometer drasticamente a estrutura (ex.: sismos, explosões, incêndios ou impactos acidentais).

Para avaliar a segurança e a funcionalidade, a norma ainda define estados limites, que são condições a partir das quais a estrutura deixa de atender aos requisitos de projeto, sejam eles de segurança, funcionalidade ou durabilidade. Tais estados são classificados em:

- a) **Estado Limite Último (ELU):** Relacionado à segurança estrutural, representa a condição de ruptura ou colapso total ou parcial da estrutura. É o critério que garante a proteção da vida;
- b) **Estado Limite de Serviço (ELS):** Refere-se ao desempenho funcional e à durabilidade. Abrange condições de uso que, embora não causem o colapso, afetam a utilização normal da estrutura (ex.: deformações excessivas, vibrações incômodas ou fissuras que comprometam a durabilidade).

Para garantir que a estrutura seja projetada para resistir aos cenários mais críticos, a norma também estabelece combinações específicas de ações. Estas combinações levam em conta a probabilidade de ocorrência simultânea de diferentes cargas e seus efeitos combinados, aplicando fatores de ponderação para cobrir incertezas e garantir a margem de segurança necessária.

No contexto das estruturas metálicas de armazenagem, como racks e sistemas de estantes, a aplicação da NBR 8681 (ABNT, 2004) é crucial para assegurar sua estabilidade e segurança operacional. A norma orienta sobre:

- a) Dimensionamento Adequado: Garantindo que as dimensões e materiais utilizados suportem as cargas previstas.
- b) Análise de Cargas Variáveis: Considerando variações no peso dos materiais armazenados e movimentações internas.
- c) Considerações sobre Ações Excepcionais: Planejando para eventos raros, como incêndios ou sismos, que possam comprometer a integridade da estrutura.

A NBR 17150 (ABNT, 2024a; ABNT, 2024b) fornece uma abordagem específica e aplica-se a sistemas de armazenagem estática tipo porta-paletes, com longarinas com conectores de encaixe, fabricados com elementos de aço, destinados ao armazenamento de unidades de carga, inclui sistemas contraventados ou não contraventados. Não se aplica, nesta norma, a sistemas dinâmicos (como drive-in, drive-through, cantilever, etc.), nem a estruturas em condição de incêndio, exceto conforme outras normas específicas.

Estabelece requisitos específicos relacionados a inspeção das estruturas metálicas de armazenagem, trazendo diretrizes para o uso seguro orientando sobre:

- a) Inspeções regulares obrigatórias: a norma enfatiza que estruturas devem passar por verificações periódicas quanto ao estado das colunas, longarinas, conexões, soldas, proteção contra corrosão, etc.
- b) Frequência de inspeções: embora não fixe para todos os casos (depende uso, carga e ambiente), sugere inspeções anuais ou conforme critérios técnicos e histórico de uso.

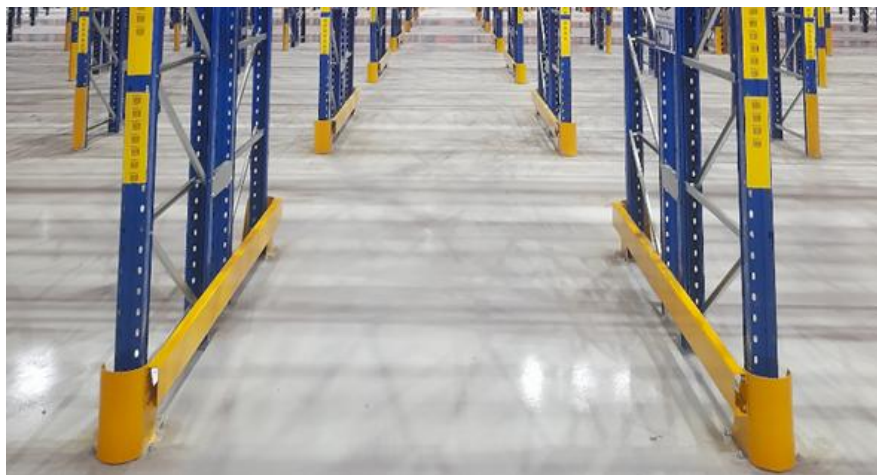
- c) Registro documental de inspeções, manutenção corretiva e preventiva. Histórico de falhas, deformações sofridas, danos por impactos etc. Isso permite monitoramento ao longo do tempo.

A norma também define requisitos específicos relacionados a componentes e acessórios que promovem segurança durante as operações logísticas, referente a sinalizações e folgas de operação, indicando:

- a) Protetores de coluna: dispositivo para proteção contra impactos de empilhadeiras, prevenindo danos estruturais graves às colunas.
- b) Sinalização e documentação clara: indicar capacidades de carga, identificar módulos, placas de advertência, etc., para que operadores saibam os limites e condições de uso seguro.
- c) Folga de corredor, largura de corredores, espaço livre e movimentação dos paletes devem estar de acordo com o que a norma determina para evitar colisões, garantir ergonomia e segurança no tráfego interno.

A figura 4 apresenta os acessórios de segurança protetores de colunas instalados em estruturas de armazenagem porta paletes:

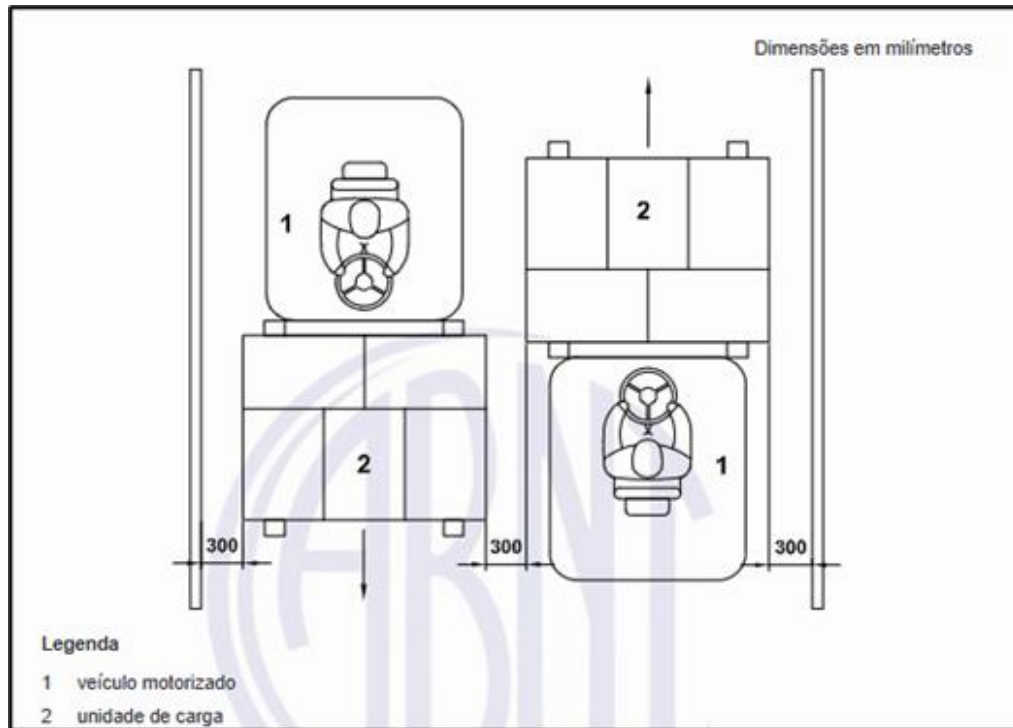
Figura 4 – Protetores de colunas instalados



Fonte: elaboração própria.

Já na figura 5 estão representadas as folgas de corredor principal para um sistema bidirecional de empilhadeiras sem tráfego de pedestres:

Figura 2 – Folgas do corredor principal para um sistema bidirecional



Fonte: ABNT (2024b).

A segurança das estruturas metálicas de armazenagem é essencial para a operação eficiente e segura de ambientes logísticos. A NBR 8681 (ABNT, 2004) fornece as diretrizes necessárias para o projeto e análise dessas estruturas, considerando as diversas ações que podem afetá-las. Sua aplicação adequada contribui significativamente para a prevenção de falhas e acidentes, assegurando a integridade das operações e a segurança dos profissionais envolvidos.

4.6 Sustentabilidade industrial e logística: da economia linear à circular

A evolução da sociedade moderna está intrinsecamente ligada ao desenvolvimento industrial e à capacidade de distribuição de bens. Historicamente, as revoluções industriais impulsionaram avanços econômicos significativos: a primeira (século XVII) trouxe a mecanização; a segunda (século XIX), a eletricidade e a produção em massa; a terceira (século XX), a informatização; chegando à atual Indústria 4.0, marcada pela automação e IoT, já em transição para uma quinta revolução (Campello, 2021). No entanto, esse crescimento cobrou um preço ambiental elevado. Com uma população global de cerca de 8 bilhões de habitantes, estima-se uma geração de 800 milhões de toneladas de resíduos por ano, uma consequência

direta de atividades humanas que vão desde tarefas básicas até processos produtivos complexos (Abdalla; Freire Sampaio, 2018).

O modelo predominante que guiou esse desenvolvimento foi a economia linear, fundamentada na lógica de "extração, produção, uso e descarte". Campello (2021) alerta que esse sistema gera quatro riscos críticos para as organizações: escassez de matérias-primas, ameaça à continuidade produtiva, perda de competitividade por obsolescência e conflitos na cadeia de suprimentos. Diante da evidência de que o ecossistema terrestre não suporta mais os níveis de degradação atuais, surge a necessidade imperativa de adotar a Economia Circular.

Segundo Silva *et al.* (2021), a economia circular não é apenas uma nova forma de manufatura, mas uma resposta alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), visando garantir prosperidade econômica com qualidade ambiental. Nesse sistema regenerativo, o conceito de "fim de vida" é substituído por fluxos contínuos. Abdalla e Freire Sampaio (2018) explicam que a circularidade opera em dois ciclos: o biológico, que devolve recursos à natureza, e o técnico, que mantém materiais em circulação através de práticas como reuso, reparo, remanufatura e upcycling (super-ciclagem). Contudo, o desafio é imenso: Campello (2021) destaca que apenas 9% dos materiais retornam ao ciclo produtivo, enquanto 81% ainda são descartados incorretamente.

Para transformar esse conceito teórico em prática operacional, a logística assume um papel protagonista. Leite (2017) descreve a logística como uma das atividades humanas mais antigas, que evoluiu de práticas militares para se tornar uma área estratégica vital, especialmente no cenário pós-pandemia da Covid-19, onde o isolamento social e o e-commerce aceleraram as demandas por distribuição. Com o aumento das pressões ambientais, essa área expandiu-se para a Logística Verde.

Santos *et al.* (2015) define a logística verde como o planejamento e execução de operações que minimizam impactos ambientais, como poluição do ar e degradação do solo, sem comprometer a eficiência. Isso inclui desde o uso de veículos elétricos e embalagens biodegradáveis até a implementação da Logística Reversa, que recaptura valor dos bens descartados. Um exemplo prático dessa sinergia é citado por Carneiro *et al.* (2022) referente à Martin-Brower, que coleta o óleo de cozinha da rede McDonald's e o transforma em biodiesel para abastecer sua própria frota, fechando o ciclo do material.

Dentro deste espectro, uma vertente de grande potencial é a armazenagem verde. Santos *et al.* (2015) enfatiza a importância de infraestruturas adequadas para a reutilização segura de estruturas metálicas em centros de distribuição. Muitas vezes, estantes industriais são sucateadas prematuramente ou reutilizadas de forma incorreta, gerando riscos de acidentes. O desenvolvimento de processos corretos de reuso para esses itens não apenas amplia sua vida útil, mas também evita o consumo energético da reciclagem, materializando os princípios da economia circular dentro dos armazéns.

Portanto, a integração entre os modelos de Economia Circular e as práticas de Logística Verde e Reversa representa uma fronteira de inovação. Ao alinhar a eficiência operacional descrita por Leite (2017) e Santos *et al.* (2015) com a necessidade de regeneração de recursos apontada por Campello (2021), as organizações contemporâneas podem mitigar riscos ambientais e, simultaneamente, descobrir novas fontes de valor e competitividade.

5 DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA PROPOSTA

Nesta seção é apresentado o desenvolvimento da metodologia proposta, iniciando pela seleção do tipo de estrutura metálica de armazenagem utilizada como base para sua elaboração, seguida do detalhamento das quatro fases da metodologia com suas respectivas etapas.

5.1 Definição do tipo de estrutura de armazenagem

Para o desenvolvimento da metodologia proposta foi selecionado um dos tipos existentes de estruturas metálicas de armazenagem mencionados na literatura, com base nos critérios: a) prevalência de uso em Centros de Distribuição no Brasil; b) tratamento por norma ABNT; (c) possibilidade de acesso aos componentes; d) prevalência de componentes estruturais simplificados.

Quadro 3 – Análise comparativa dos quatros tipos de estrutura metálica mais comuns em centros de distribuição no Brasil

	PORTA PALETES	DRIVE-IN DRIVE-TRHU	DINÂMICO PUSH- BACK	AUTOMÁTICO
Aplicação em Centros de Distribuição	ALTO	ALTO	MÉDIO	BAIXO
Norma ABNT	SIM	SIM	NÃO	NÃO
Acesso aos Componentes	ALTO	MÉDIO	BAIXO	BAIXO
Componentes Estruturais Simplificados	SIM	SIM	NÃO	NÃO

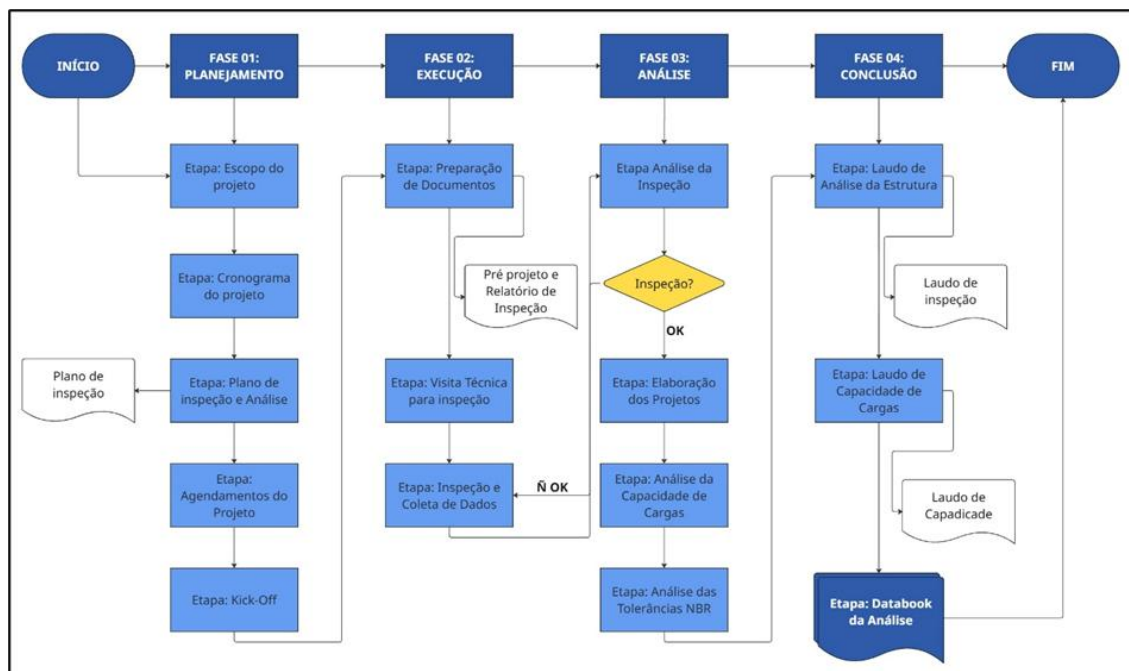
Fonte: elaboração própria.

O quadro 3 detalha a escolha do tipo de estrutura “porta paletes” para o desenvolvimento da metodologia proposta com base nos critérios mencionados. A falta de tratamento por Norma ABNT foi o principal critério que inviabilizou a escolha dos tipos Dinâmico e Automático, enquanto a possibilidade de acesso aos componentes inviabilizou o tipo Drive-in Drive-trhu.

5.2 Metodologia proposta

Para desenvolvimento da metodologia proposta, foram aplicados os métodos de análise do referencial teórico e normativo, além de técnicas de simulação e observação realizadas por meio do conhecimento e das experiências prévias do autor. Na sequência, foram elaboradas as fases do processo da metodologia proposta, com o desdobramento das etapas a serem realizadas para validar o reuso das estruturas metálicas de armazenagem, com base na análise prévia das referências, tornando as fases alinhadas e norteando a elaboração dos *templates* e documentos necessários para posterior teste e comprovação da eficácia e organização da metodologia.

Figura 6 – Fluxograma da metodologia de reuso de estruturas metálicas de armazenagem



Fonte: elaboração própria.

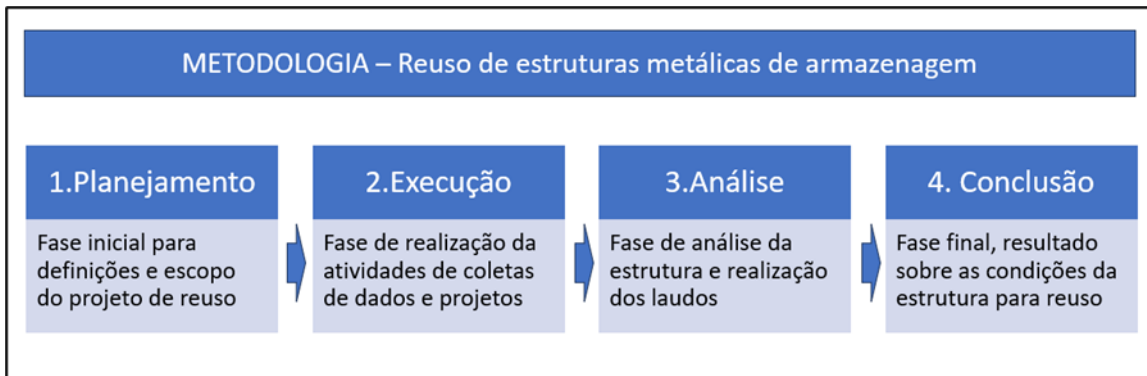
A figura 6 apresenta o desdobramento da metodologia proposta em suas quatro fases e quinze etapas do processo, que serão detalhadas a seguir.

5.2.1 Fases da metodologia

As fases da metodologia são demonstradas no formato de fluxo de processo representadas pela figura 7 a seguir, sendo divididas em quatro: planejamento, execução, análise e conclusão. Cada uma dessas quatro etapas desempenha papel

fundamental na concepção da metodologia proposta, constituindo os eixos do macroprocesso desenvolvido, que foram desdobrados em etapas e pacotes de trabalho a serem realizados em cada fase do processo.

Figura 7 – Fluxograma das fases do processo



Fonte: elaboração própria.

A **fase de planejamento** é definida como o início do processo da metodologia proposta para reuso de estruturas metálicas de armazenagem. Nessa etapa, foi estabelecido o porta-paletes como tipo de estrutura de armazenagem que servirá de base para o desenvolvimento da metodologia, por cumprir os principais requisitos definidos e, sobretudo, por ser o sistema de armazenagem mais comumente implantado em centros logísticos de distribuição.

Nesta fase, é fundamental o envolvimento do cliente, bem como a interpretação precisa do escopo e o entendimento das expectativas em relação ao resultado da análise da estrutura para reuso. É de suma importância o levantamento de todas as informações que o cliente possa fornecer sobre a estrutura a ser analisada, visando a construção de um histórico abrangente que será de grande valia durante a fase de análise. Além disso, devem ser realizadas reuniões para explicar ao cliente todas as etapas da metodologia. Também são elaborados documentos essenciais, como o cronograma de atividades, com definição das datas de visitas técnicas, entregas de documentos e reuniões de report e kick-off após a análise das estruturas. O principal documento gerado nesta fase é o plano de análise e inspeção da estrutura de armazenagem.

A **fase de execução** ocorre após a conclusão do planejamento e das reuniões, especialmente a reunião de kick-off, quando todas as definições de execução já estão alinhadas e agendadas. Nessa etapa, realizam-se as atividades de coleta de informações in loco, por meio da inspeção da estrutura metálica de armazenagem.

Essa inspeção deve ser conduzida por profissional técnico treinado e experiente em projetos e análises de sistemas de armazenagem, realizando mapeamentos e anotações técnicas em documento específico para coleta de informações. Esse documento é elaborado com base nos requisitos das normas técnicas nacionais, em formato de checklist, e inclui projeto prévio para anotações dimensionais e demais características relevantes. Para essa atividade, utilizam-se ferramentas manuais, equipamentos de medição e instrumentos avançados, como laser, garantindo a verificação eficaz e a coleta completa das informações exigidas pelas normas. Após a inspeção in loco e a coleta dos dados, inicia-se a elaboração dos projetos com os detalhes necessários, que servirão de base para as análises e laudos da fase seguinte.

A **fase de análise** é a etapa de maior aplicação das normas técnicas nacionais, principalmente da ABNT NBR 17150:2024 (partes 1 e 2). Nela, são elaborados os laudos analíticos e realizada a verificação do cumprimento dos requisitos normativos das estruturas metálicas avaliadas para reuso ou remanejamento. Todos os pontos relevantes coletados na fase anterior devem ser analisados, incluindo a capacidade de carga das estruturas. Essa análise se fundamenta nas dimensões dos perfis metálicos formados a frio que compõem os principais elementos da estrutura, os quais devem ser de aço estrutural específico, conforme definição normativa. A partir disso, são realizadas as verificações necessárias para determinar a capacidade de carga por unidade de armazenagem, comumente definida como capacidade de carga por posição de palete.

A **fase de conclusão** corresponde ao encerramento da metodologia proposta, em que os laudos e análises orientam a decisão sobre o reuso da estrutura metálica de armazenagem. As conclusões são apresentadas como capítulo final dos laudos, com o objetivo de apontar as condições gerais da estrutura, evidenciar os pontos não conformes às normas técnicas vigentes e apresentar os resultados das análises de capacidade de carga. Essas conclusões servem de base para orientar a definição sobre o reuso da estrutura. Os direcionamentos podem variar desde a constatação de que a estrutura não está apta para reuso, até a possibilidade de reutilização após ações de manutenção ou reforço estrutural, conforme indicado pelas análises normativas. Para finalizar essa fase, são concluídos os laudos com parecer técnico conclusivo e orientativo das ações necessárias, além da realização de uma última reunião de report com o cliente.

Nas seções seguintes, são detalhadas as quatro fases da metodologia proposta (planejamento, execução, análise e conclusão) bem como suas respectivas etapas.

5.2.2 Fase de planejamento

Nesta fase, inicia-se a aplicação da metodologia para reuso de estruturas metálicas de armazenagem, proposta e desenvolvida nesta pesquisa. Trata-se de uma etapa de fundamental importância para a subsequência das demais fases, pois norteará todo o processo em relação ao escopo e às expectativas das partes interessadas, principalmente dos contratantes do serviço. A metodologia, fruto desta pesquisa, apresenta-se como solução para empresas que necessitam realizar o reuso ou o remanejamento de sistemas de armazenagem.

Assim como nas demais fases, foram desenvolvidas etapas principais para orientar e direcionar o desdobramento das atividades. Essas etapas geram pacotes de trabalho com entregas definidas e a criação de documentos utilizados tanto na execução das atividades quanto na entrega dos pacotes de trabalho. Entre esses documentos, destacam-se planos, laudos, projetos e ARTs — documento emitido pela associação de classe CREA.

As cinco etapas que compõem esta fase de planejamento foram estruturadas com base na aplicação de técnicas de simulação e observação, além do emprego da experiência prévia do autor em atividades técnicas e de engenharia de projetos, bem como em gerenciamento de projetos de implantação de sistemas de armazenagem

Figura 8 – Etapas da fase de planejamento



Fonte: elaboração própria.

Conforme apresentado na Figura 8, a organização das etapas ocorre de forma sequencial: inicia-se pelo escopo do projeto de reuso; em seguida, desenvolve-se o cronograma de realização do projeto; posteriormente, elabora-se o plano de inspeção e análise da estrutura; na sequência, realizam-se os agendamentos do projeto; e, por fim, a fase é concluída com o *kick-off* do projeto junto às partes interessadas. Todas essas etapas estão detalhadas nos tópicos a seguir.

5.2.2.1 Etapa: Escopo de projeto

Nesta etapa é realizado o levantamento de todas as informações necessárias com as partes interessadas sobre a estrutura metálica de armazenagem. Para início, a principal atividade é a realização de uma reunião inicial com os responsáveis pela estrutura, com o objetivo de coletar dados importantes.

As informações a serem levantadas incluem:

- a) Objetivo do reuso das estruturas: se será um remanejamento de estrutura própria, configurado como desmontagem em um local e remontagem em outro; se o objetivo será a compra de uma estrutura já utilizada para montagem em um novo centro logístico; ou se a estrutura já foi reaproveitada sem análise prévia, contrariando a metodologia proposta;
- b) Condições da estrutura: verificar se está desmontada ou ainda montada em seu local de origem; como será realizado o transporte; condições de acabamento superficial; e se possui todos os componentes estruturais conforme a ABNT NBR 17150:2024 (partes 1 e 2);
- c) Informações técnicas da estrutura: identificar o fabricante (quando possível), o tipo de acabamento e a conformidade com as normas técnicas;
- d) Documentação técnica prévia: confirmar a existência do projeto original com dimensionamentos e capacidade de carga; ARTs de projeto e montagem; memoriais descritivos e de cálculo; e qualquer documentação que comprove a origem da estrutura;
- e) Informações técnicas das unidades de carga: definir os tipos de materiais a serem armazenados, dimensões das unidades de carga (largura, profundidade e altura) e o peso máximo por unidade, conhecido como peso da posição palete;

- f) Informações técnicas para projeto: verificar se há esboço de layout de montagem, configurações de altura dos níveis de longarinas, dimensões dos corredores operacionais e densidade de armazenagem planejada (quantidade de posições palete);
- g) Informações do local de montagem: levantar dados geográficos do centro logístico, condições de temperatura (armazenagem seca, refrigerada ou congelada), tipo de piso, estado do galpão (acabado e em operação ou não), pé-direito e área disponível. É indicado solicitar a planta do galpão em formato DWG para concepção dos projetos futuros;
- h) Imagens e evidências: solicitar fotos e vídeos da estrutura de armazenagem para avaliação do estado geral e orientação do pré-projeto de inspeção. Também devem ser coletadas imagens da área do galpão onde ocorrerá a montagem.

Todas essas informações devem ser solicitadas durante a reunião inicial, podendo ser enviadas e formalizadas por e-mail ou por transferência de arquivos em nuvem. Devem ser salvas em formato de consulta para acesso durante as demais fases da metodologia proposta.

5.2.2.2 Etapa: Cronograma do projeto

Nesta etapa é realizado o planejamento e o desenvolvimento do cronograma, com todas as atividades, suas durações e a definição das datas de início e término de cada uma delas. O principal objetivo do cronograma é orientar todas as partes interessadas, trazendo confiabilidade e previsão dos prazos de execução, principalmente da inspeção realizada in loco e da análise da condição geral da estrutura para reuso, conforme requisitos das normas técnicas nacionais vigentes.

A elaboração do cronograma é baseada nas informações reunidas na etapa anterior. Entre os principais dados utilizados para definição das durações das tarefas estão: condições das estruturas, localização, quantidade de posições paletes armazenadas e documentos técnicos prévios, como o projeto original com layout atual. Isso é especialmente relevante nos casos em que a estrutura ainda está montada e será posteriormente desmontada e remanejada para outro galpão.

Com base nessas informações e no fluxo de processo de elaboração, inicia-se a criação do cronograma. Para isso, é utilizado um software que auxilia tanto na construção quanto no gerenciamento do tempo das atividades planejadas. O programa adotado é o MS-Project.

As atividades planejadas são exibidas no cronograma com foco em informar todas as partes envolvidas no projeto de reuso da estrutura metálica de armazenagem. São apresentadas atividades macro e mais abrangentes, enquanto as tarefas detalhadas e pacotes de trabalho ficam restritos ao fluxo da fase de execução, de conhecimento apenas da equipe técnica responsável pela aplicação da metodologia.

As atividades apresentadas no cronograma geral são:

- a) Fase 01 – Planejamento: Elaboração de pré-projeto: Definição do tempo necessário para elaboração do pré-projeto, utilizado na coleta de informações da estrutura durante a inspeção;
- b) Fase 02 – Análise: Inspeção das estruturas de armazenagem: Definição do tempo necessário para inspeção técnica in loco, considerando estado atual das estruturas (montadas ou desmontadas), localização geográfica e dimensões gerais, como quantidade total de posições paletes. O tempo é estabelecido para coleta de informações e posterior elaboração dos laudos;
- c) Fase 02 – Análise: Avaliação das estruturas de armazenagem – ABNT NBR 17150:2024 (partes 1 e 2): Definição do tempo necessário para análise da condição atual da estrutura, com base nos dados coletados durante a inspeção e sua verificação em relação aos requisitos normativos nacionais;
- d) Fase 03 – Documentação e entrega: Elaboração dos laudos e projetos: Definição do tempo necessário para elaboração dos projetos em 2D da estrutura na condição atual, servindo como documento técnico de referência para montagem em remanejamento. Também é considerado o tempo para elaboração dos laudos, incluindo análises da condição da estrutura e conclusões documentadas sobre continuidade de uso ou reuso;
- e) Fase 03 – Documentação e entrega: Entrega dos laudos e projetos: Definição da data de entrega de toda a documentação desenvolvida, incluindo projetos,

análises e laudos, com orientações sobre as condições de reuso da estrutura metálica de armazenagem.

5.2.2.3 Etapa: Plano de verificação da estrutura

Nesta etapa é desenvolvido o plano de inspeção e análise, documento que orienta as partes interessadas sobre as atividades previstas durante a execução da inspeção in loco e a análise da condição geral da estrutura para reuso. O plano também descreve os documentos que serão entregues na fase final e apresenta o cronograma de realização, conforme definido no planejamento do projeto.

A elaboração do plano baseia-se nas etapas anteriores e, por ser o documento inicial da metodologia proposta, serve como guia para o time técnico responsável pela verificação e análise da estrutura metálica de armazenagem, além de funcionar como referência formal às partes interessadas. O conteúdo é dividido em capítulos estruturados, conforme segue:

- a) Identificação das partes interessadas: deve-se registrar a empresa proprietária da estrutura metálica de armazenagem, o responsável designado para acompanhar a análise e os documentos comerciais vinculados ao processo. Essa identificação garante rastreabilidade e formalização da responsabilidade sobre a estrutura;
- b) Objetivo: apresentar de forma clara o propósito da inspeção e da análise, especificando se o foco é verificar condições para reuso, avaliar conformidade técnica ou validar documentação existente. Devem ser incluídos detalhes do projeto de referência, tipo de estrutura e localização atual ou futura da instalação;
- c) Sistema de armazenagem verificado: descrever as características técnicas da estrutura, incluindo dimensões, configuração dos níveis, capacidade de carga e quantidade total de posições palete disponíveis. Essas informações permitem avaliar a compatibilidade da estrutura com o uso pretendido;
- d) Normas técnicas aplicadas: indicar as normas que servirão de referência para a análise, destacando especialmente a ABNT NBR 17150:2024 (partes 1 e 2) – Sistemas de Armazenagem, aplicável a porta-paletes. A citação das normas assegura que a inspeção siga critérios técnicos reconhecidos;

- e) Escopo de verificação: detalhar as atividades que serão realizadas durante a inspeção in loco, incluindo medições, registros fotográficos, avaliação de componentes estruturais e verificação de acabamentos. Devem ser listados os equipamentos e softwares utilizados, garantindo transparência e padronização do processo;
- f) Documentos elaborados e entregues: especificar os documentos que serão gerados após a execução e análise, como o Laudo Técnico de Inspeção, projetos as-built (projeto com representações técnicas) e ART de inspeção. Cada documento deve ser descrito quanto ao seu conteúdo e finalidade, assegurando clareza sobre os resultados esperados;
- g) Cronograma de realização: inserir o cronograma definido na fase anterior, com prazos para cada atividade de inspeção, análise e entrega de documentos. Esse cronograma deve ser validado pelas partes interessadas para garantir alinhamento com o planejamento geral do projeto;
- h) Responsável técnico: identificar o profissional responsável pela aplicação da metodologia, que deve possuir registro ativo no CREA. A indicação formal do responsável técnico assegura credibilidade e conformidade legal do processo.

5.2.2.4 Etapa: Agendamento do projeto

Nesta etapa são realizados os agendamentos com base no cronograma previamente desenvolvido, com o objetivo de validar as datas das atividades planejadas nas fases anteriores. Os agendamentos devem ser confirmados primeiramente com os responsáveis pela estrutura e demais partes interessadas envolvidas na análise.

Durante o processo de agendamento, o cronograma geral do projeto pode sofrer ajustes. Caso ocorram alterações, o cronograma original e o plano de verificação da estrutura devem ser revisados e adequados ao calendário possível para execução das atividades.

Para facilitar e agilizar os agendamentos, recomenda-se o uso de softwares e aplicativos de gestão, tais como:

- a) Google Agenda: para bloqueio e organização das datas;
- b) Google Meet: para reuniões pré-agendadas e comunicação entre equipes;
- c) Google Drive: para compartilhamento de arquivos e posterior formação do databook do projeto (arquivo composto por diversos documentos que mostram o histórico de execução de um serviço, obra ou da fabricação de um produto).

Após a definição dos agendamentos, deve ser realizada a reunião de kick-off. Essa reunião inicial tem como finalidade apresentar todas as etapas do plano de verificação às partes interessadas e responsáveis pela estrutura, além de alinhar a equipe técnica que executará as fases e atividades da metodologia proposta.

5.2.2.5 Etapa: Kick-off

Nesta etapa é realizada a reunião inicial com os responsáveis pela estrutura, as partes interessadas e a equipe técnica. O objetivo é apresentar o plano de verificação da estrutura a ser analisada, conforme a metodologia proposta. Todos os itens do plano devem ser expostos pelo responsável técnico de forma detalhada. Eventuais dúvidas devem ser esclarecidas nesta atividade, pois a ausência de compreensão plena pode comprometer o andamento da verificação e, conseqüentemente, os resultados da avaliação.

Os principais pontos a serem evidenciados na reunião são:

- a) Apresentação do plano de verificação: todos os itens devem ser apresentados em detalhe, com espaço para esclarecimento de dúvidas gerais e técnicas;
- b) Condições gerais de execução: informar as condições necessárias para a realização das atividades, especialmente a inspeção técnica. É fundamental que as estruturas estejam vazias, sem paletes armazenados, para garantir eficácia na inspeção. Além disso, a movimentação de equipamentos e empilhadeiras deve ser paralisada por motivos de segurança;
- c) Gerenciamento das expectativas: identificar e compreender as expectativas dos responsáveis e das partes interessadas. Caso alguma expectativa não possa ser atendida pela metodologia, deve ser esclarecida imediatamente para evitar prejuízos nas fases seguintes;

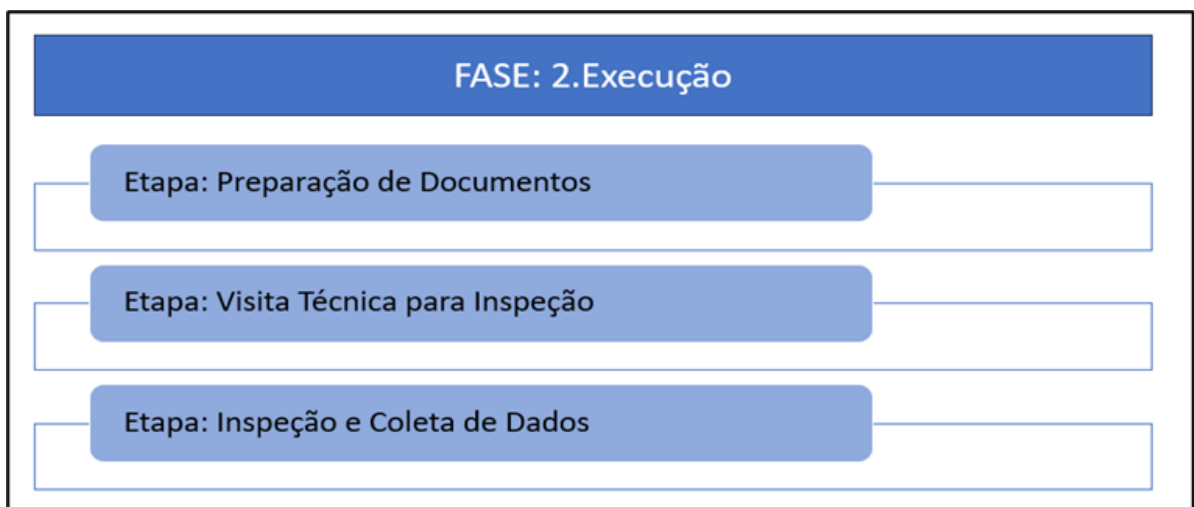
- d) Alterações necessárias: se houver necessidade de ajustes em fases, atividades ou no cronograma, o plano de verificação deve ser revisado e reenviado a todos os participantes da reunião;
- e) Registro da reunião de kick-off: após a conclusão da reunião, com todas as dúvidas sanadas, condições de execução acordadas, expectativas alinhadas e alterações registradas, o responsável técnico deve elaborar documento comprobatório da realização da reunião (preferencialmente uma ata). Esse documento deve ser formalizado e compartilhado por e-mail com todos os participantes.

Com a finalização das atividades da fase de planejamento, os agendamentos concluídos e a reunião de kick-off realizada com sucesso, inicia-se a etapa de execução. Nela, a equipe técnica e os profissionais capacitados e treinados passam a atuar na realização das atividades previstas pela metodologia.

5.2.3 Fase de execução

Nesta fase são realizadas as três etapas necessárias para colocar em prática o planejamento definido anteriormente, conforme ilustrado na figura 9. O objetivo principal é coletar os dados indispensáveis para a etapa seguinte, dedicada à análise da estrutura metálica de armazenagem.

Figura 9 – Etapas da fase de execução



Fonte: elaboração própria.

As etapas da fase de execução foram organizadas em uma sequência lógica buscando assegurar que todas as informações relevantes sejam obtidas de forma sistemática e confiável:

- a) Preparação de documentos: organização dos registros e materiais necessários para a inspeção;
- b) Visita técnica in loco: deslocamento da equipe ao local para observação inicial da estrutura;
- c) Inspeção e coleta de dados: realização das medições, registros fotográficos e levantamento detalhado das condições da estrutura;
- d) Finalização da execução: consolidação dos dados coletados, garantindo insumos completos para a fase seguinte de análise.

Considera-se importante que as atividades de campo propostas sejam conduzidas por equipe técnica qualificada, com treinamento específico em técnicas de medição e coleta precisa de informações. Esse cuidado é essencial para identificar possíveis danos ou avarias que possam comprometer o reuso das estruturas avaliadas.

5.2.3.1 Etapa: Preparação de documentos

O desenvolvimento da sequência didática pode ocorrer ao longo de seis a oito semanas, considerando encontros semanais de duas a três aulas, conforme a organização curricular e a carga horária da escola. Tal estimativa não deve ser compreendida como prescrição rígida, mas como referência orientadora, passível de ajustes de acordo com o ritmo da turma, as condições institucionais e as demandas que emergirem do próprio processo educativo.

5.2.3.2 Avaliação e acompanhamento do processo

Nesta etapa são elaborados os documentos que serão utilizados na fase seguinte. A preparação deve considerar as informações já coletadas sobre as estruturas metálicas de armazenagem, podendo incluir a solicitação de dados adicionais. Os principais documentos são o pré-projeto para inspeção e o relatório de coleta de dados, que podem ser apresentados em formato de anotações gerais ou

checklist, conforme o tipo de estrutura e a experiência do profissional responsável pela inspeção.

O pré-projeto tem como objetivo facilitar a coleta de informações durante a inspeção in loco. Deve ser elaborado em software de projeto 2D, normalmente AutoCAD, e posteriormente plotado para uso em campo. O pré-projeto deve conter:

- a) Vista superior das estruturas: representação em planta do layout das estruturas de armazenagem. Permite anotar dimensões gerais, largura dos corredores e identificar interferências incorretas, como bloqueio de saídas de emergência ou hidrantes. Devem ser plotadas três versões:
 - 1ª. Para medições de planimetria e registro de desníveis e inclinações.
 - 2ª. Para marcação de componentes danificados e peças a substituir.
 - 3ª. Para uso geral durante a inspeção.
- b) Vista frontal das estruturas: representação das alturas dos níveis de armazenagem. Deve registrar dimensões entre longarinas, vãos livres e espaçamento entre colunas, expressos pelo comprimento das longarinas;
- c) Vista lateral das estruturas: representação da configuração lateral dos montantes, permitindo verificar e corrigir quantidades e posicionamentos de travessas e diagonais.

Além das representações gráficas, devem ser registradas informações complementares em formato de anotações ou checklist:

- d) Elementos de fixação: verificar torques de aperto dos parafusos, preferencialmente por amostragem, garantindo dados suficientes para análise posterior;
- e) Componentes estruturais: confirmar a presença de todos os elementos exigidos pela norma ABNT NBR 17150:2024 (partes 1 e 2), como montantes completos, travessas, diagonais, sapatas fixadas, longarinas, distanciadores e protetores opcionais;
- f) Instalação dos elementos de fixação: avaliar se todos os parafusos, chumbadores e travas estão corretamente instalados, evitando riscos de acidentes;

- g) Placas de identificação: verificar existência de placas de capacidade de carga fornecidas pelo fabricante ou por laudos anteriores;
- h) Danos da estrutura: registrar componentes danificados em projeto de mapeamento, indicando localização e grau de dano. Devem ser anotados também danos de acabamento, oxidação, falhas estruturais graves e posicionamento incorreto de paletes que comprometam a segurança;
- i) Registros fotográficos: realizar fotografias de componentes danificados, medições de desníveis, ausência de elementos, placas de identificação e demais evidências necessárias para análise;
- j) Dimensões geométricas dos perfis estruturais: elaborar esboços com dimensões gerais de colunas, travessas, diagonais, sapatas, longarinas e conectores. Esses dados serão utilizados no desenvolvimento do projeto *as-built* e na fase de análise.

5.2.3.3 Etapa: Visita técnica para inspeção

Nesta etapa é realizada a visita técnica para inspeção da estrutura metálica de armazenagem que será posteriormente analisada. A execução deve seguir as datas previstas no cronograma e respeitar os agendamentos previamente definidos.

Os profissionais responsáveis pela inspeção devem observar pontos essenciais que envolvem desde a preparação até a execução *in loco*:

- a) Preparação de equipamentos: planejar previamente todos os instrumentos necessários, incluindo trena de fita, trena a laser com alcance mínimo de 50 metros, torquímetro analógico ou digital (a partir de 0 Nm), nível de bolha magnético, paquímetro digital, medidor de espessura por ultrassom, nível a laser 360° autonivelante com tripé e régua de medição com receptor de nivelamento, entre outras ferramentas complementares;
- b) Pré-projeto e anotações gerais: os projetos e documentos de apoio devem ser plotados em formatos adequados (A2 ou A1, conforme detalhamento e dimensões da estrutura). Para informações gerais, recomenda-se o uso de checklists elaborados ou cadernos de anotações técnicas;
- c) Equipamentos de proteção individual (EPIs): verificar os EPIs exigidos pela empresa onde a estrutura está instalada. Os itens mínimos obrigatórios incluem

calçados de segurança com biqueira de composite, capacete, óculos de proteção, protetores auriculares e colete refletivo;

- d) Integração de segurança: participar da integração de segurança da empresa, assegurando o cumprimento das regras internas e dos pontos de atenção necessários para execução segura da coleta de dados;
- e) Com essas etapas concluídas e já em campo, inicia-se a execução da inspeção e a coleta de dados diretamente na área onde as estruturas metálicas de armazenagem estão alocadas ou instaladas.

5.2.3.4 Etapa: Inspeção e coleta de dados

Nesta etapa é realizada a execução da inspeção e coleta de dados da estrutura metálica de armazenagem, a ser posteriormente analisada. Com base nas preparações realizadas e definidas no item anterior, o profissional responsável pela inspeção deve seguir a sequência estabelecida para a coleta eficiente das informações, que servirão de base para a próxima fase de análise.

A execução da inspeção proposta será realizada com base nas técnicas e no conhecimento prévio do profissional, tanto na utilização dos equipamentos de medição quanto na experiência em coletar informações relevantes. Sendo assim, torna-se de grande importância a capacitação e qualificação deste profissional para as seguintes atividades:

a) Mapeamento de peças avariadas:

Nesta atividade é realizada a coleta de informações relacionadas ao mapeamento de peças avariadas. Com base nos requisitos normativos da NBR 17150 (ABNT, 2024a; ABNT, 2024b), o profissional avalia o estado das peças e componentes existentes na estrutura. Ao identificar peças não conformes, realiza o registro de acordo com sua localização. O registro dos dados coletados é feito por meio de anotação no pré-projeto, identificando na vista superior. Também é definida a marcação por forma de legenda:

- D – Diagonal
- T – Travessa
- C – Coluna
- S – Sapata

- N° L – Nível de longarina
- PC – Protetor de colunas

Na seção posterior, que apresenta os estudos de caso, serão mostradas as representações.

b) Dimensões gerais da estrutura

Nesta atividade é realizada a coleta de informações relacionadas à medição das dimensões gerais da estrutura. Devem ser utilizados equipamentos de medição do tipo trena de fita e trena a laser, com o objetivo de coletar todas as medições, como afastamentos das estruturas até as paredes laterais e de fundo, dimensões dos corredores entre estruturas, dimensões do pé-direito do galpão, bem como verificar possíveis interferências entre a alvenaria e a estrutura (hidrantes, tubulações etc.). O registro dos dados coletados é realizado através da anotação no pré-projeto, identificando na vista superior. Na seção posterior, que apresenta os estudos de caso, serão mostradas as representações.

c) Dimensões de configurações da estrutura

Nesta atividade é realizada a coleta de informações relacionadas à medição das dimensões de configuração das estruturas. Devem ser utilizados equipamentos de medição do tipo trena de fita e trena a laser, com o objetivo de coletar todas as medições de alturas dos níveis da estrutura entre longarinas, medidas dos vãos livres dos níveis de armazenagem dos paletes e medidas entre montantes, definidos pelo comprimento das longarinas. O registro dos dados coletados é realizado através da anotação no pré-projeto, identificando nas vistas frontais. Na seção posterior, que apresenta os estudos de caso, serão mostradas as representações.

d) Dimensões geométricas dos perfis

Nesta atividade é realizada a coleta de informações relacionadas à medição das dimensões dos perfis geométricos dos componentes da estrutura de armazenagem. Devem ser utilizados equipamentos de medição do tipo trena de fita, trena a laser, paquímetro digital e medidor de espessura por ultrassom, com o objetivo de coletar todas as medições dos perfis, como largura, altura, comprimento, espessura e demais detalhes importantes. O registro dos dados coletados é realizado através de

esboços feitos durante a inspeção. Na seção posterior, que apresenta os estudos de caso, serão mostradas as representações.

e) Verificação do torque dos elementos de fixação

Nesta atividade é realizada a coleta de informações relacionadas ao torque dos elementos de fixação presentes nas estruturas. Deve ser utilizado equipamento do tipo torquímetro analógico ou digital, além de ferramentas do tipo soquete para verificação dos parafusos. O objetivo é coletar os torques dos parafusos e chumbadores por método de amostragem. O registro dos dados coletados é realizado através de anotação ou checklist previamente elaborado.

f) Altimetria do nivelamento da estrutura

Nesta atividade é realizada a coleta de informações relacionadas à medição da altimetria da estrutura instalada. Devem ser utilizados equipamentos de medição do tipo nível a laser 360° autonivelante, com suporte do tipo tripé e régua de medição com receptor de nivelamento. O objetivo é coletar todas as medições de desnível das estruturas sobre as sapatas instaladas. O registro dos dados coletados é realizado através da anotação no pré-projeto, identificando na vista superior. Na seção posterior, que apresenta os estudos de caso, serão mostradas as representações.

g) Verificação do prumo e inclinação da estrutura

Nesta atividade é realizada a coleta de informações relacionadas à medição da inclinação da estrutura instalada. Devem ser utilizados equipamentos de medição do tipo nível a laser 360° autonivelante, com suporte do tipo tripé e régua de medição com receptor de nivelamento. O objetivo é coletar todas as medições de inclinação das estruturas, gerando o desaprumo para análise. O registro dos dados coletados é realizado através da anotação no pré-projeto, identificando na vista superior. Na seção posterior, que apresenta os estudos de caso, serão mostradas as representações.

h) Registros fotográficos gerais

Nesta atividade são realizados registros fotográficos da estrutura, com o objetivo principal de coletar imagens importantes que serão posteriormente utilizadas na elaboração dos laudos e para auxiliar nos processos durante a análise.

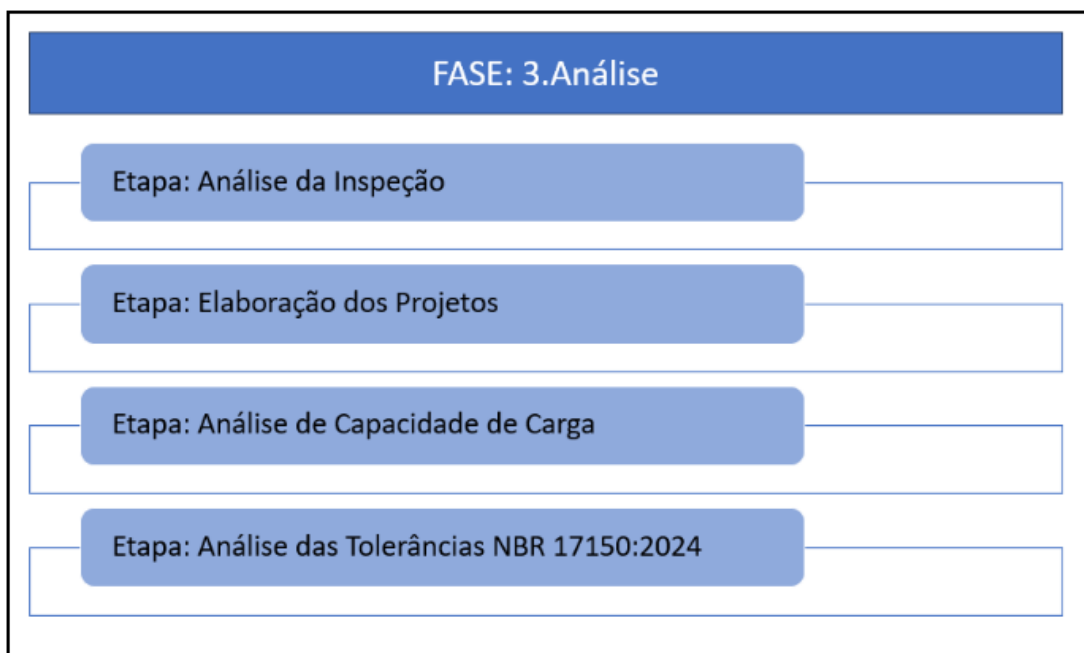
i) Danos gerais da estrutura e demais verificações

Nesta atividade são realizados registros dos danos gerais encontrados na estrutura, como danos ao acabamento, ausência de componentes estruturais importantes, pontos de oxidação e quaisquer outras observações relevantes sobre a condição geral da estrutura ou da operação. Deve-se dar atenção especial a situações que possam representar risco à operação ou risco de queda iminente. O registro dos dados coletados é realizado através de anotações ou checklist previamente elaborado, sendo o apoio dos registros fotográficos de suma importância e amplamente utilizado nesta atividade.

5.2.4 Fase de Análise

Nesta fase são propostas quatro etapas de análise, com base nas informações e dados coletados na fase anterior de execução da inspeção, conforme ilustrado na Figura 10. O principal objetivo é realizar a análise dos dados da estrutura metálica de armazenagem.

Figura 10 – Fase de Análise: etapas



Fonte: elaboração própria.

É nesta fase que se concentram todas as atividades de elaboração dos documentos da inspeção, como projetos e laudos, além da análise das condições gerais das estruturas e da interpretação em relação aos principais requisitos

normativos nacionais em vigência, tendo a ABNT NBR 17150:2024 (partes 1 e 2) como norma de referência no Brasil.

O desenvolvimento das quatro etapas desta fase envolveu técnicas de simulação, observação, e a experiência prévia do autor em atividades técnicas de engenharia de projetos e gerenciamento de projetos de implantação de sistemas de armazenagem. As etapas são apresentadas nos tópicos a seguir.

5.2.4.1 Etapa: Análise da inspeção

Nesta etapa é realizada a análise de todas as informações coletadas durante a visita técnica e inspeção da estrutura metálica de armazenagem. Desta forma, são verificados qualitativamente os dados, a fim de garantir que todas as informações necessárias foram coletadas e que possibilitam uma análise precisa para definir se poderá ser realizado o reuso da estrutura, ou em quais condições isso será possível.

Os profissionais responsáveis pela análise devem se atentar a todos os pontos e dados coletados durante a inspeção para a execução desta etapa, dada a sua importância para que a análise seja realizada com embasamento e precisão.

Essa verificação é conduzida por meio da análise das informações coletadas, da revisão de todas as anotações realizadas em pré-projetos, esboços e registros gerais. O principal objetivo é validar a qualidade dos dados, verificando se há necessidade de novas coletas de informações ou se a base de dados e fotografias registradas é relevante e suficiente para permitir o avanço às próximas etapas de análise.

5.2.4.2 Etapa: Elaboração de projetos

Nesta atividade é realizada a elaboração do projeto *as-built* ou projeto de montagem. Para isso, é utilizado o software AutoCAD, pois a representação principal deste projeto deve seguir os requisitos normativos das normas ABNT NBR 17150:2024 (partes 1 e 2), ABNT NBR 8800:2025 e ABNT NBR 6492:2021. O desenvolvimento é feito no formato 2D, por ser a representação comumente utilizada em projetos de centros de distribuição.

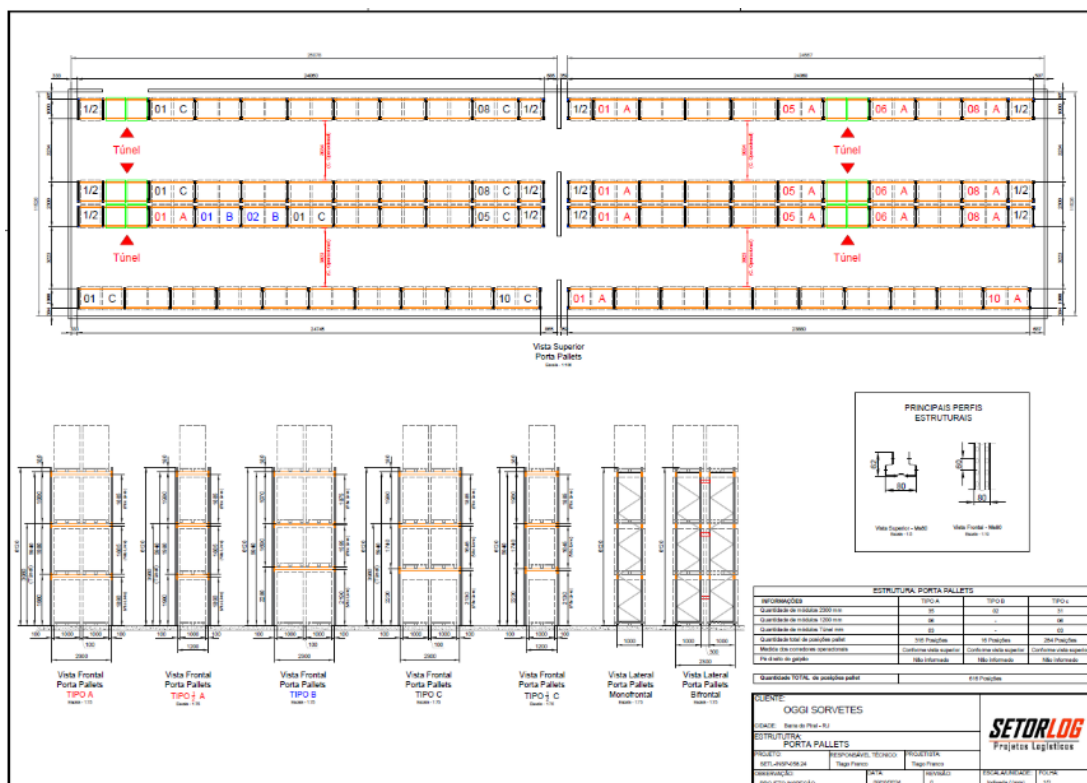
Este projeto contempla as seguintes representações:

- a) Vista superior: representa a planta do galpão com o layout das estruturas de armazenagem. O objetivo é demonstrar a localização e as dimensões gerais da estrutura em formato de projeto, trazendo todas as cotas de afastamentos da estrutura metálica em relação ao galpão. Para análise, esta vista é fundamental, pois permite verificar diversos pontos importantes relacionados às tolerâncias.
- b) Vistas frontais: representam os cortes frontais dos módulos de armazenagem. O objetivo é demonstrar as alturas dos níveis de armazenagem por meio de cotas dimensionais, desde o solo até a face superior do primeiro nível de longarinas, e sequencialmente entre os demais níveis. Também são representadas as dimensões dos vãos livres entre pares de longarinas, as medidas entre montantes no sentido do comprimento e as dimensões gerais do módulo, incluindo a altura total do último nível de armazenagem. Essa informação é essencial para definir a elevação necessária do equipamento de operação, como a empilhadeira, além da altura total da coluna dos montantes. Devem ser reproduzidas todas as vistas frontais de cada tipo de configuração existente na estrutura metálica.
- c) Vistas laterais: representam os cortes laterais dos módulos de armazenagem. O objetivo é demonstrar as configurações das ruas de armazenagem, que podem ser bifrontais (ruas duplas) ou monofrontais (ruas simples). Esta vista também é importante para representar a configuração das travessas e diagonais dos montantes, além das alturas de instalação dos distanciadores que formam as ruas bifrontais e possíveis acessórios, como travamentos superiores, quando existentes.
- d) Detalhamento dos perfis geométricos: representa os cortes necessários para detalhar os perfis geométricos que compõem a estrutura. São detalhados os perfis das colunas, travessas, diagonais, longarinas e demais elementos estruturais. Estas representações devem estar organizadas em seção específica da folha de projeto, para facilitar a localização.
- e) Legenda de informações técnicas: apresenta os dados quantitativos da estrutura de armazenagem, como o número de módulos de cada configuração,

a quantidade de posições de paletes por tipo de módulo e a capacidade total de armazenagem. Também são incluídos dados complementares, como a localização do centro de distribuição e os responsáveis pelo projeto. Esta legenda deve estar localizada na área inferior direita da folha, em formato de tabela.

A Figura 11 apresenta um exemplo de projeto do tipo *as-built*, elaborado após a inspeção e desenvolvido na fase de análise.

Figura 11 – Projeto *As-built* pós inspeção e análise



Fonte: elaboração própria.

– Projeto de altimetria e mapeamento

Nesta atividade é realizada a elaboração do projeto de altimetria e inclinação, juntamente com o projeto de mapeamento de peças avariadas. Para isso, é utilizado o software AutoCAD, pois a representação principal deve seguir os requisitos normativos das normas ABNT NBR 17150:2024 (parte 2), ABNT NBR 8800:2025 e ABNT NBR 6492:2021. O desenvolvimento é feito no formato 2D, por ser a representação comumente utilizada em projetos de centros de distribuição. Este projeto contempla as seguintes representações:

- a) Altimetria e inclinação em vista superior: Representa a planta do galpão com o layout das estruturas de armazenagem. O objetivo é demonstrar as medidas coletadas da altimetria da estrutura, expressas numericamente em milímetros sobre as sapatas das colunas. A inclinação também deve ser representada nesta mesma vista superior, em milímetros totais ou em milímetros por metro, conforme os dados coletados. São utilizadas setas indicativas para mostrar a direção da inclinação do montante analisado. Esses valores e setas devem estar posicionados exatamente sobre a localização do montante, garantindo clareza das informações.
- b) Mapeamento de peças avariadas: Representa a planta do galpão com o layout das estruturas de armazenagem. O objetivo é indicar as peças avariadas que necessitam substituição. A localização deve ser precisa e posicionada diretamente sobre a peça a ser substituída, de modo que o projeto funcione como um mapa para as partes interessadas. As representações devem utilizar as legendas previamente estabelecidas durante a fase de inspeção e coleta de informações. Essas legendas devem estar incluídas na folha do projeto, junto à vista de planta.
- c) Legenda de informações técnicas: Apresenta os dados quantitativos da estrutura de armazenagem, como:
- Quantidade de módulos de cada configuração.
 - Quantidade de posições de paletes por tipo de módulo.
 - Capacidade total de armazenagem em posições de paletes.

Também são incluídos dados complementares, como a localização do centro de distribuição e os responsáveis pelo projeto. Esta legenda deve estar localizada na área inferior direita da folha, em formato de tabela.

Exemplos de projetos elaborados conforme esta metodologia proposta são demonstrados nos Anexos C a H deste trabalho.

5.2.4.3 Etapa: Análise de capacidade de carga

Nesta etapa é realizada a verificação da capacidade de carga das estruturas de armazenagem analisadas, a partir das informações coletadas durante a visita técnica e inspeção da estrutura metálica. São avaliados os perfis geométricos com

base no detalhamento de projeto elaborado na fase anterior. O objetivo é determinar a capacidade de carga que a estrutura estará apta a suportar, não se tratando de uma etapa avaliativa com caráter de condenação da utilização, mas sim de orientação segura quanto à carga máxima por posição palete que poderá ser armazenada.

A verificação da capacidade de carga fundamenta-se nas normas técnicas nacionais vigentes, em especial a ABNT NBR 17150:2024 (parte 1) e a ABNT NBR 14762:2010, que estabelecem diretrizes para cálculos estruturais aplicados aos perfis utilizados em estruturas metálicas de armazenagem. Conforme definido na NBR 17150 (ABNT, 2024a), existem diferentes formas de realizar essa verificação em estruturas porta-paletes. A metodologia aqui proposta busca demonstrar procedimentos possíveis, sem questionar ou validar a aplicabilidade dos métodos previstos na norma, que incluem cálculos estruturais, ensaios destrutivos e análises globais por elementos finitos. Considerando que o objetivo principal é o reuso de estruturas já existentes, torna-se necessário adotar atividades específicas para validação.

As atividades desta fase de verificação de capacidade de carga são detalhadas a seguir:

– Propriedades geométricas dos perfis

Nesta atividade são verificadas as dimensões geométricas dos perfis da estrutura, conforme detalhamento de projeto. Essas dimensões servem de base para a definição das propriedades geométricas necessárias aos cálculos estruturais, como área da seção, momentos de inércia nos eixos x e y, raio de giração nos eixos x e y, entre outras.

– Material e propriedades mecânicas

Nesta etapa é identificado o tipo de aço utilizado na fabricação da estrutura. A determinação correta do material é essencial para definir a capacidade de carga. De acordo com a NBR 17150 (ABNT, 2024a), estruturas porta-paletes devem ser produzidas com aço estrutural que atenda aos requisitos normativos. Para estruturas existentes, podem ser adotados três procedimentos:

- a) Aço estrutural certificado: o fabricante original da estrutura pode fornecer o certificado do aço estrutural utilizado na fabricação da estrutura, comprovando todas as propriedades mecânicas do aço.

- b) Ensaios mecânicos: podem ser realizados ensaios mecânicos de tração e compressão por laboratórios independentes para determinação das propriedades mecânicas do aço, porém é um tipo de ensaio destrutivo e precisará ser realizada a coleta de amostras das peças e componentes existentes da estrutura.
- c) Aço não definido: a norma define que em caso de desconhecimento do tipo de aço utilizado na fabricação das estruturas de armazenagem, deve-se adotar em casos de aços conformados a frio adotar 180 N/mm² ou aços não definidos adotar 140 N/mm como módulo de resistência (ABNT, 2024a).

– Configurações das estruturas de armazenagem

Nesta atividade é realizada a consulta ao projeto *as-built* elaborado na etapa anterior. As vistas frontais, com as configurações dos tipos de módulos e, principalmente, as alturas dos níveis de armazenagem, são de suma importância para os cálculos estruturais ou análises globais da estrutura. Da mesma forma, as vistas laterais, contendo as configurações dos montantes e as dimensões entre travessas e diagonais, constituem informações essenciais para a verificação.

– Definição da capacidade de carga

Com base nas informações obtidas nas atividades anteriores, procede-se à definição da capacidade de carga das estruturas de armazenagem, em conformidade com os requisitos normativos de cálculos estruturais estabelecidos pela ABNT NBR 17150:2024 (parte 1). Os cálculos podem ser realizados por diferentes métodos, como o uso de planilhas eletrônicas (Excel), softwares de cálculo estrutural (ex.: Strap) ou softwares de análise por elementos finitos, que permitem a verificação global da estrutura. No caso de validação por cálculo estrutural convencional, devem ser seguidos os requisitos e coeficientes previstos na ABNT NBR 17150:2024 (parte 1)

O resultado desta etapa é a elaboração de um memorial de cálculo, no qual constam todas as capacidades de carga correspondentes às diferentes configurações dos módulos da estrutura de armazenagem.

Exemplos de análises de capacidade de carga elaborados conforme esta metodologia proposta encontram-se nos anexos A e B deste trabalho.

5.2.4.4 Etapa: Análise de tolerâncias ABNT NBR 17150:2024 (parte 2)

Nesta etapa é realizada a análise das tolerâncias da estrutura metálica de armazenagem, com base nas informações coletadas durante a inspeção e na fase de verificação da capacidade de cargas, juntamente com os projetos elaborados anteriormente. A análise de tolerâncias fundamenta-se na norma técnica nacional vigente ABNT NBR 17150:2024 (parte 2), que estabelece requisitos e quadros de tolerâncias dimensionais, servindo como referência para a avaliação das estruturas metálicas de armazenagem.

Conforme definido na NBR 17150 (ABNT, 2024b), existem diversas tolerâncias dimensionais aplicáveis às estruturas porta-paletes. A metodologia proposta busca abordar aquelas que exercem maior impacto na definição das condições de reuso e na segurança da operação logística em que a estrutura será empregada.

As atividades desta fase de verificação de tolerâncias são detalhadas a seguir:

- a) Análise de montagem e projeto: nesta atividade, aplicável quando a estrutura de armazenagem está verticalizada e com montagem finalizada, é realizada a verificação da compatibilidade entre o projeto original do fabricante e a montagem executada. Podem ocorrer divergências ou, em casos de remanejamento, a ausência de projeto original. Nesses casos, registra-se na análise que a estrutura segue o layout e as vistas do projeto *as-built* elaborado;
- b) Análise do nivelamento da estrutura: nesta atividade são avaliadas as condições de nivelamento da estrutura, a partir dos dados coletados durante a inspeção, em que a planimetria foi registrada. Com base nos requisitos normativos do item 5.1.2 da NBR 17150 (ABNT, 2024b), procede-se à análise do desnível da estrutura e à definição da condição de conformidade ou não conformidade. As etapas incluem:
 - Análise da planimetria: todos os pontos e valores de altimetria coletados devem ser representados no projeto de planimetria, identificando os pontos de máxima e mínima altimetria em uma mesma rua de porta-paletes. Para facilitar a análise, os dados podem ser organizados em planilhas eletrônicas (Excel).

- Análise da tolerância normativa: o desnível das estruturas deve ser verificado conforme os requisitos dos itens 5.1 e 5.1.2 e da Tabela 1 da NBR 17150 (ABNT, 2024b). A verificação é realizada por meio de cálculos de desvio padrão, definindo a condição de desnível de cada rua de porta-paletes.
- Resultado da análise: deve ser estabelecido se a estrutura atende ou não aos requisitos normativos. O resultado é registrado como capítulo específico do laudo de análise do sistema de armazenagem.

Uma análise de nivelamento de estrutura, conforme esta metodologia, é apresentada nos estudos de caso incluídos neste trabalho.

– Análise de alinhamento da estrutura

Nesta atividade é realizada a verificação das condições de alinhamento da estrutura, com base nos dados coletados durante a inspeção, em que as dimensões foram registradas. A análise segue os requisitos normativos do item 5.2 da NBR 17150 (ABNT, 2024b), permitindo avaliar o alinhamento geral da estrutura e definir sua condição de conformidade ou não conformidade com a norma. As etapas incluem:

- a) Análise das dimensões: todas as dimensões coletadas devem ser representadas no projeto *as-built*, incluindo corredores entre ruas de porta-paletes, afastamentos em relação às paredes do galpão e dimensões entre estruturas nas direções dos montantes e extremidades. O objetivo é identificar os pontos de maior variação dimensional. Para facilitar a análise, os dados podem ser organizados em planilhas eletrônicas (Excel), permitindo a verificação dos desvios.
- b) Análise da tolerância normativa: as variações dimensionais devem ser comparadas com os requisitos normativos dos itens 5.2 e da Tabela 2 da NBR 17150 (ABNT, 2024b). A verificação é realizada por meio de cálculos de variação, identificando os maiores desvios para definir a condição de alinhamento de cada rua de porta-paletes. As tolerâncias estabelecidas pela norma são:
 - ∅ F – Variação do alinhamento do corredor: ± 15 mm
 - ∅ BF – Desalinhamento das colunas opostas do montante: 40 mm

∅ Hy – Variação de nível entre as longarinas dianteira e traseira em um plano de carga: ± 10 mm

- d) Resultado da análise: deve ser definido se a estrutura apresenta alinhamento conforme ou não conforme os requisitos normativos. O resultado é registrado como capítulo específico do laudo de análise do sistema de armazenagem.

Uma análise de alinhamento de estrutura, conforme esta metodologia, é apresentada nos estudos de caso incluídos neste trabalho.

– Análise de prumo da estrutura

Nesta atividade é realizada a análise das condições de inclinação e prumo da estrutura, com base nos dados coletados durante a inspeção, em que as inclinações foram registradas. A avaliação segue os requisitos normativos do item 5.2 da NBR 17150 (ABNT, 2024b), permitindo verificar o prumo da estrutura e definir sua condição de conformidade ou não conformidade com a norma. As etapas compreendem:

- a) Análise das inclinações: devem ser avaliados todos os pontos e valores de inclinação coletados e representados no projeto de inclinação, a fim de identificar os pontos com maior desvio em uma mesma rua de porta-paletes. Para facilitar a análise, os dados podem ser organizados em planilhas eletrônicas (Excel), permitindo a verificação final dos desvios;
- b) Análise da tolerância normativa: as variações de inclinação da estrutura devem ser comparadas com os requisitos normativos dos itens 5.2 e da Tabela 2 da NBR 17150 (ABNT, 2024b). A verificação é realizada por meio de cálculos de variação, identificando os maiores desvios para definir a condição de inclinação e prumo de cada rua de porta-paletes. As tolerâncias estabelecidas pela norma são:
- Cx – Variação de prumo de cada montante na direção X: $\pm H/350$, sendo H a altura total da coluna do montante.
 - Cz – Variação de prumo de cada montante na direção Z: $\pm H/350$, sendo H a altura total da coluna do montante.
- c) Resultado da análise: deve ser estabelecido se a estrutura apresenta prumo conforme ou não conforme os requisitos normativos. O resultado é registrado como capítulo específico do laudo de análise do sistema de armazenagem.

Uma análise de prumo de estrutura, conforme esta metodologia, é apresentada nos estudos de caso incluídos neste trabalho.

– **Análise de Instalação dos chumbadores**

Nesta atividade é realizada a análise da instalação dos chumbadores que fixam as sapatas das estruturas ao solo, com base nos dados coletados durante a inspeção, em que os torques foram registrados. A avaliação considera as definições de torque mínimo necessárias para chumbadores mecânicos, permitindo verificar a conformidade ou não conformidade da instalação. As etapas compreendem:

- a) Análise dos torques registrados: devem ser avaliados todos os pontos e valores de torque coletados e representados, a fim de identificar os locais com torques abaixo do recomendado em uma mesma rua de porta-paletes. Para facilitar a análise, os dados podem ser organizados em planilhas eletrônicas (Excel), permitindo a verificação final dos desvios;
- b) Análise da tolerância: os torques devem ser comparados com os valores mínimos definidos pelo fabricante dos chumbadores mecânicos, de modo a estabelecer a condição de instalação. As tolerâncias de referência são:
 - Chumbador mecânico parabol $\frac{1}{2}$ " x $3\frac{3}{4}$ " – torque mínimo: 60 N·m (Fonte: Âncora);
 - Chumbador mecânico parabol $\frac{3}{8}$ " x $3\frac{3}{4}$ " – torque mínimo: 30 N·m (Fonte: Âncora).
- c) Resultado da análise: deve ser definido se a estrutura apresenta instalação dos chumbadores conforme ou não conforme os torques mínimos exigidos. O resultado é registrado como capítulo específico do laudo de análise do sistema de armazenagem.

Uma análise de instalação de chumbadores, conforme esta metodologia, é apresentada nos estudos de caso incluídos neste trabalho.

– **Análise de Instalação dos elementos de fixação**

Nesta atividade é realizada a análise da instalação dos elementos de fixação do tipo conjunto de parafusos e porcas, responsáveis por prender as travessas e diagonais às colunas, formando os montantes, bem como os que fixam as sapatas às

colunas e demais acessórios da estrutura. A avaliação é conduzida com base nos dados coletados durante a inspeção, em que os torques foram registrados, considerando os valores mínimos exigidos para esses elementos de fixação. O objetivo é verificar a conformidade ou não conformidade da instalação. As etapas compreendem:

- a) **Análise dos torques registrados:** Devem ser avaliados todos os pontos e valores de torque coletados e representados, a fim de identificar os locais com torques abaixo do recomendado em uma mesma rua de porta-paletes. Para facilitar a análise, os dados podem ser organizados em planilhas eletrônicas (Excel), permitindo a verificação final dos desvios.
- b) **Análise da tolerância:** Os torques devem ser comparados com os valores mínimos definidos pelo fabricante dos elementos de fixação, de modo a estabelecer a condição de instalação. As tolerâncias de referência são:
 - Conjunto de parafuso e porca 5/16” – torque mínimo: 60 N·m (Fonte: Belenus)
 - Conjunto de parafuso e porca 1/2” – torque mínimo: 60 N·m (Fonte: Belenus)
- c) **Resultado da análise:** deve ser estabelecido se a estrutura apresenta instalação dos elementos de fixação conforme ou não conforme os torques mínimos exigidos. O resultado é registrado como capítulo específico do laudo de análise do sistema de armazenagem.

Uma análise da instalação dos elementos de fixação, conforme esta metodologia, é apresentada nos estudos de caso incluídos neste trabalho.

– **Análise de Instalação da placa de identificação de carga**

Nesta atividade é realizada a análise da instalação da placa de identificação de capacidade de carga da estrutura, aplicável quando a estrutura de armazenagem encontra-se verticalizada e com montagem finalizada. A verificação consiste em avaliar a compatibilidade entre a capacidade de carga informada nas placas e as cargas permissíveis resultantes da análise de capacidade de carga previamente realizada.

Como resultado, é definido se as placas estão em conformidade ou não com as capacidades calculadas, ou ainda se não existem placas de identificação instaladas

na estrutura. O resultado desta análise é registrado como capítulo específico do laudo de análise do sistema de armazenagem.

– **Análise de Instalação de acessórios**

Nesta atividade é realizada a análise da instalação dos acessórios que podem estar presentes na estrutura de armazenagem, aplicável quando a estrutura encontra-se verticalizada e com montagem finalizada. A verificação consiste em avaliar a correta instalação dos principais componentes, conforme descrito a seguir:

- a) Protetores de colunas: devem estar instalados em frente ou fixados às colunas da estrutura, evitando colisões diretas durante a operação.
- b) Protetores de colunas de extremidade: devem estar posicionados em frente às colunas de extremidade, com perfis interligados, de modo a prevenir colisões laterais diretas contra a estrutura.
- c) Retentores de paletes: devem ser instalados na parte posterior de cada nível de armazenagem, impedindo que os paletes ultrapassem o balanço máximo permitido pela norma durante a operação.
- d) Travamentos superiores: devem ser aplicados entre montantes opostos, conectando ruas monofrontais a bifrontais, garantindo maior estabilização das ruas monofrontais durante a operação.

Como resultado desta análise, é definido se os acessórios instalados estão em conformidade ou não com os requisitos normativos da ABNT NBR 17150:2024 (parte 2). O resultado é registrado como capítulo específico do laudo de análise do sistema de armazenagem.

– **Danos da estrutura**

Nesta atividade é realizada a análise dos danos da estrutura que não possuem tolerâncias definidas pela norma ABNT NBR 17150:2024 (parte 2), com base nos dados coletados durante a inspeção. Os principais aspectos avaliados são:

- a) Peças avariadas: Devem ser analisados todos os registros de peças danificadas coletados durante a inspeção, juntamente com o projeto de mapeamento. O laudo deve apresentar imagens que comprovem as avarias, bem como a quantidade e descrição das peças necessárias para substituição.

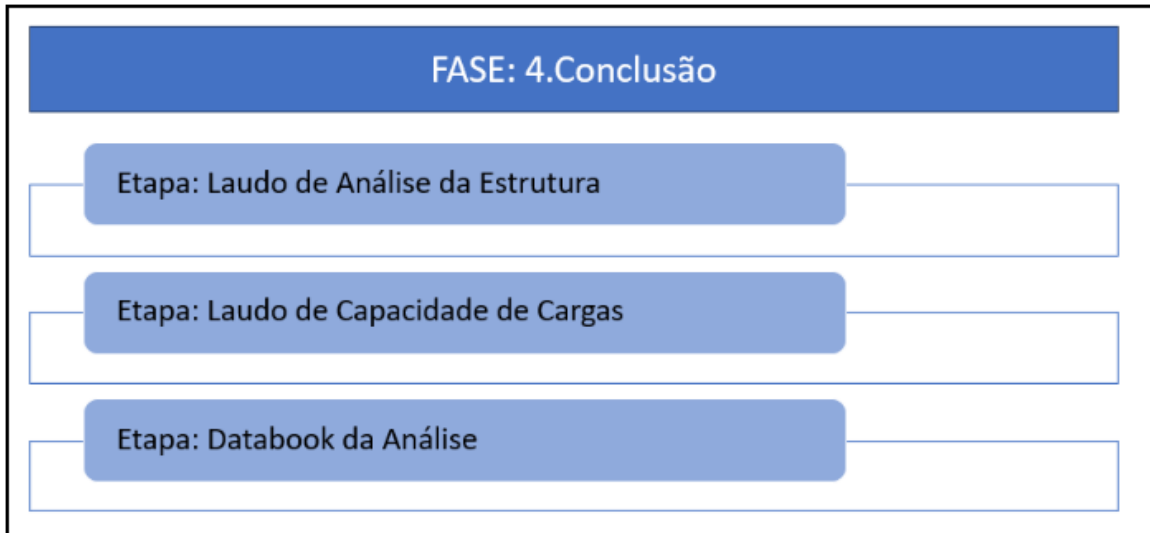
- b) Danos de acabamento: Devem ser avaliados os registros de danos ao acabamento da estrutura, como oxidação de componentes, desprendimento da camada de pintura e outras patologias identificadas. O laudo deve incluir imagens que comprovem os danos e sua localização.
- c) Pinos trava: Devem ser analisados os dados referentes à ausência de pinos trava nos conectores das longarinas da estrutura. Por se tratar de item essencial para a segurança da operação, a ausência de apenas um pino já deve ser considerada não conforme. O laudo deve apresentar imagens que comprovem as ausências.
- d) Junções de colunas: Devem ser avaliados os registros sobre as junções de colunas, quando existentes, verificando se atendem aos requisitos normativos. O laudo deve incluir imagens que comprovem eventuais não conformidades.

Além desses, outros danos que representem riscos à utilização e operação da estrutura de armazenagem devem ser relatados. O resultado desta análise é registrado como capítulo específico do laudo de análise do sistema de armazenagem.

5.2.5 Fase de Conclusão

Nesta fase é realizada a conclusão das análises para o reuso da estrutura de armazenagem, com base nos requisitos e tolerâncias definidos pela norma ABNT NBR 17150:2024 (partes 1 e 2), e foi organizada em três Etapas conforme apresentado na Figura 12.

Figura 12 – Fase de conclusão: etapas



Fonte: elaboração própria.

A partir da análise dos dados coletados durante a fase de inspeção, propõe-se a elaboração de dois laudos (laudo de análise da estrutura e laudo de capacidade de cargas) e do *databook* da análise, todos esses detalhados a seguir.

5.2.5.1 Etapa: laudo de análise da estrutura

Nesta etapa é realizada a elaboração do laudo de análise da estrutura, documento principal da metodologia proposta para o reuso de estruturas metálicas de armazenagem. Nele são apresentadas todas as análises realizadas com base nas condições gerais da estrutura e nos requisitos normativos nacionais da ABNT NBR 17150:2024 (partes 1 e 2). Os resultados dessas análises são descritos em dois tópicos conclusivos:

- a) **Aprovação para operação:** Nesta seção é definido, com base em todas as análises, se a estrutura está apta à operação de forma segura e em conformidade com os requisitos normativos, ou se são necessárias ações de correção e manutenção. Caso haja necessidade de correções, devem ser relacionados todos os pontos que exigem intervenção;
- b) **Orientações para operação:** Nesta seção são estabelecidas as orientações decorrentes da aprovação ou reprovação da estrutura para operação segura. Podem incluir recomendações de descarte seguro da estrutura ou instruções detalhadas de manutenção necessárias para torná-la apta à operação.

Assim, é realizada a finalização do laudo de análise do sistema de armazenagem, com todas as análises organizadas em capítulos e acompanhadas das indicações necessárias que corroboram a definição final de aptidão ou não da estrutura metálica de armazenagem para reuso.

Neste estudo são apresentados dois laudos, formatados como estudos de caso, no capítulo sexto.

5.2.5.2 Etapa: laudo de capacidade de cargas

Nesta etapa é realizada a elaboração do laudo de capacidade de cargas, documento complementar da metodologia proposta para o reuso de estruturas metálicas de armazenagem. Nele são apresentadas todas as análises realizadas com base nas propriedades geométricas da estrutura, nas propriedades mecânicas do material, nas configurações dos módulos de armazenagem e nos cálculos estruturais fundamentados nos requisitos normativos nacionais da ABNT NBR 17150:2024 (parte 1). Os resultados dessa análise são descritos como a capacidade de carga suportada pela estrutura.

Assim, é concluída a elaboração do laudo de análise do sistema de armazenagem, contendo todas as análises organizadas em capítulos e o memorial de cálculo, no qual constam as capacidades de carga correspondentes às diferentes configurações dos módulos da estrutura.

Nos anexos A e B são apresentados dois laudos de capacidade de cargas, relacionados aos estudos de caso, descritos neste trabalho de pesquisa.

5.2.5.3 Etapa: *datobook* da análise

Somam-se aos laudos de análises do sistema de armazenagem, o projeto *as-built*, o projeto de nivelamento e inclinação, e a ART emitida pelo responsável técnico pelas análises, formando assim o *datobook*, sendo o resultado desta metodologia proposta para reuso de estruturas metálicas de armazenagem em centros logísticos de distribuição. Neste estudo são apresentados estes documentos relacionados aos estudos de caso pelos anexos.

6 ESTUDOS DE CASO

Para testar a aplicação da metodologia proposta, foram realizados dois estudos de caso, aqui denominados como Galpões Logísticos A e B, nos quais o processo foi aplicado em todas as suas fases, etapas e atividades, conforme detalhado no capítulo anterior.

Com o objetivo de testar a metodologia e analisar seus resultados, esses estudos de caso foram conduzidos no formato de serviços de engenharia voltados à análise de estruturas para manutenção ou reuso de sistemas metálicos de armazenagem. Dessa forma, foram obtidos dados reais da aplicação prática da metodologia nas empresas participantes, o que confere maior credibilidade às análises e resultados, além de proporcionar maior clareza e confiabilidade às conclusões apresentadas no final deste trabalho.

6.1 Galpão logístico A

O Galpão Logístico A está localizado em um polo logístico nacional na cidade de Navegantes – SC. O galpão tem como foco principal o recebimento de produtos importados que chegam em contêineres pelo Porto de Itajaí – SC, sendo posteriormente realizada a operação de armazenagem desses produtos paletizados em estruturas metálicas do tipo porta-paletes.

No final do ano de 2023 um dos principais clientes do grupo empresarial controlador do Galpão Logístico A, solicitou a substituição das estruturas metálicas de armazenagem até então instaladas. Com essa demanda, surgiu a necessidade de uma análise técnica que validasse ou a substituição por estruturas novas ou o reuso das estruturas existentes, que seria realizada pelo autor deste trabalho de pesquisa.

Para a análise, foi então aplicada a metodologia desenvolvida nesta pesquisa, contemplando as quatro fases descritas no capítulo anterior, com foco maior na Fase de análise da estrutura (Fase 3).

A fase de **planejamento** foi realizada por meio de reuniões com o administrador do galpão logístico, nas quais foi explicado ao cliente todas as etapas da metodologia, além de solicitados documentos que pudessem servir de base para as análises posteriores, tais como planos, laudos, projetos e ARTs. Foi traçado um plano de

inspeção e análise e feito o devido agendamento (cronograma), seguindo as etapas propostas no item 5.2.2 do capítulo anterior.

A fase de **execução** foi iniciada logo após a aprovação dos gestores na reunião de kick-off realizada. A inspeção para coleta de dados e informações foi realizada nos dias 07 e 08 de Janeiro de 2024, pelo Responsável Técnico Tiago Franco, e acompanhada pelo gestor do Galpão A.

A fase de **análise** foi iniciada logo após a coleta de dados, seguida pela fase de **conclusão**, ambas detalhadas a seguir.

6.1.1 Análise da inspeção do Galpão A

Esta primeira análise teve por objetivo evidenciar e relatar a inspeção técnica do sistema de armazenagem descrito. Visando a análise das condições gerais de estado, conservação e operação das estruturas, bem como a verificação de conformidade com as normas técnicas aplicadas, seguindo as premissas da NBR 17150 (ABNT, 2024b) item 4.5.2 Classe 400 – Corredor estreito, de modo a garantir a segurança da utilização das estruturas de armazenagem.

O Sistema de armazenagem inspecionado e relatado é do tipo estrutura estática Porta Pallets, projeto técnico S/N, fabricante: diversos. A estrutura apresentava visualmente boas condições de acabamento, porém com alguns sinais de desgaste por operação em alguns componentes, por data de projeto a estrutura está instalada e em operação na data do laudo.

Foi recomendado ao responsável pelo uso das estruturas de armazenamento providenciar as inspeções periódicas conforme frequência definida na NBR 17150 (ABNT, 2024b), sendo necessário pelo menos uma inspeção anual por pessoal técnico habilitado, de modo a garantir a segurança na utilização das estruturas.

– **Montagem conforme projeto**

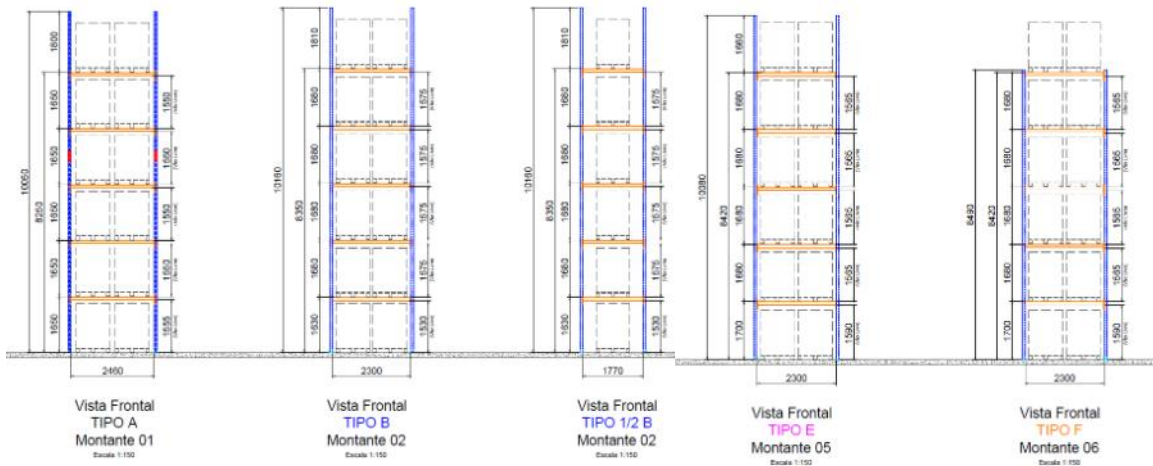
Não foram encontrados projeto dos fabricantes de referência. Porém pós inspeção foi feito o projeto *As-built* da estrutura. O CD 01 dispõe de estruturas Porta Pallets sendo 14.682 Posições pallets e 45 planos para picking em 1.251 módulos de estruturas Porta Pallets, sendo 06 tipos de perfis estruturais diferentes, como ilustrado nas figuras 13, 14 e 15.

Figura 13 – Estruturas de armazenagem analisadas: estudo A



Fonte: elaboração própria.

Figura 14 – Configurações dos módulos de armazenagem



Fonte: elaboração própria.

Figura 15 – Perfis estruturais

RUAS 01 A 11 TIPO A			RUAS 25 L.D A 36 L.E TIPO D		
RUAS 12 A 17 L.E TIPO B			RUAS 37 A 42 TIPO E		
RUAS 17 L.D A 25 L.E TIPO C			RUAS 43 A 48 TIPO F		

Fonte: elaboração própria.

– Operação do centro de distribuição

O centro de distribuição estava em plena operação e as estruturas estavam parcialmente abastecidas.

– Análise do nivelamento da estrutura

A estrutura estava fixada no piso com chumbadores, porém para cada tipo de perfil estrutural foi utilizado um tipo de chumbador, sendo eles o PARABOLT PBA 3/8"x 3.3/4", PARABOLT PBA 1/2" x 3.3/4" e M 10x75 mm. Foi verificado o nivelamento da estrutura em diversas ruas por amostragem, e identificado que alguns pontos excedem o limite normativo dos critérios solicitados pelo item 5.1 da NBR 17150 (ABNT, 2024b) tabela 1. O ponto mais baixo encontrado sendo - 55 mm e o ponto mais alto encontrado sendo 0 mm (Rua 04) , resultando em um máximo desnível verificado de 55 mm na mesma rua de Porta Pallets. As áreas com desníveis mais agravantes estão entre as ruas 04, 13, 15, 37, 40 e 48, delimitando assim áreas em que o desnível está mais crítico, conforme figura 16:

Figura 16 – Desnível da estrutura



Fonte: elaboração própria.

As principais áreas com desnível crítico estão compreendidas entre, TIPO A – RUAS 01 a 07, TIPO B – RUAS 12 a 17, TIPO E – RUAS 37 a 42 e TIPO F – RUAS 43 a 49, conforme destacado nas figuras 17 e 18.

Figura 17 – Áreas de maiores desníveis da estrutura



Fonte: elaboração própria.

Figura 18 – Tolerâncias de desnível: estudo A

Classificação	Nível da longarina superior m	E_{SD} mm
FM1 – Empilhadeira sem deslocamento lateral	Acima de 13	2,25
FM2 – Empilhadeira sem deslocamento lateral	Entre 8 e 13	3,25
FM3 – Empilhadeira sem deslocamento lateral	Até 8	4,0
FM3 – Empilhadeira com deslocamento lateral	Até 13	4,0

Fonte: ABNT (2024b).

Um ponto de atenção está na Rua 04, pois o desnível negativo é progressivo no sentido do fundo do galpão para as docas e nos 02 últimos montantes das estruturas o desnível começa a apresentar elevação. O Piso não apresenta sinal de recalque estrutural, apenas o descolamento da junta de dilatação em um pilar que está alinhado à rua 04 (figura 19). No laudo foi indicada a necessidade do monitoramento do comportamento do piso.

Figura 19 – Junta de dilatação pilar alinhado com Rua 04



Fonte: elaboração própria.

Como evidenciado na figura 20, algumas estruturas tinham calços instalados de forma irregular para correção do desnível, sendo ideal que os calços aplicados tenham a dimensão da base da sapata.

Figura 20 – Calços irregulares



Fonte: elaboração própria.

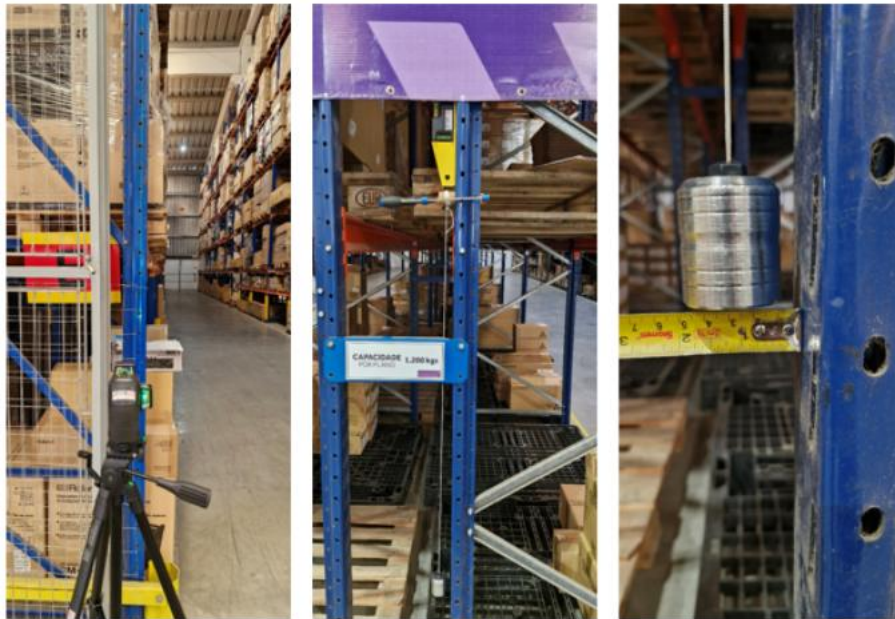
– **Análise do alinhamento da estrutura**

Foi verificado o alinhamento da estrutura e constatado que está alinhada, ou seja, a estrutura está conforme os critérios estabelecidos pela NBR 17150 (ABNT, 2024b).

– Análise da inclinação da estrutura

Foi verificado o prumo da estrutura e constatado que estava fora dos critérios estabelecidos pela NBR 17150 (ABNT, 2024b) (figuras 21 e 22), sendo os pontos medidos nas extremidades dos montantes para identificar o maior ponto de deslocamento lateral.

Figura 21 – Verificação de inclinação e prumo das estruturas



Fonte: elaboração própria.

Figura 22 – Tolerâncias de prumo

Limites de tolerância no plano horizontal X, Z mm		
Símbolo da dimensão	Descrição da tolerância	Tolerâncias de montagem para os porta-paletes classe 400
C_x	Fora de prumo de cada montante na direção X. ^a	$\pm H/350$
C_z	Fora de prumo de cada montante na direção Z. ^a	$\pm H/350$

Fonte: ABNT (2024b).

Com base na altura do montante da estrutura aproximadamente 10.050 mm o deslocamento máximo permitido para prumo lateral e frontal é de C_x (lateral) e C_z (frontal) =28,7mm, sendo que o deslocamento máximo encontrado nos pontos de extremidade foram de $C_z = 10 \text{ mm/m} = 100,5 \text{ mm}$ estando estes montantes não conformes em relação a inclinação (prumo) da estrutura. Para efeito de manutenção

geral da estrutura em ações de manutenção os montantes devem ser 100% verificados, pois a operação contínua somada ao desnível da estrutura conforme item 4.3 ao longo do tempo podem gerar desaprumos pontuais.

Figura 23 – Inclinação da estrutura



Fonte: elaboração própria.

Conforme ilustrado pela figura 23, as principais ruas com desaprumo crítico medido em amostragem foram, TIPO A – RUA 04 e 08, TIPO B – RUAS 15 e 19, TIPO E – RUA 40 e TIPO F – RUAS 45 a 48. Na tabela 1 estão apresentados os valores medidos de desaprumo das extremidades das estruturas:

Tabela 1– Desaprumos medidos

RUA	h COLUNA (mm)	INCLINAÇÃO	TIPO	DESVIO Máx NORMA (mm)	DESAPRUMO MEDIDO (mm)
RUA 04	10050	10 mm/m	CZ	28,7	100,5
RUA 08	10050	3 mm/m	CZ	28,7	30,15
RUA 15	10160	5 mm/m	CZ	29,0	50,8
RUA 19	8900	8 mm/m	CZ	25,4	71,2
RUA 23	8900	3 mm/m	CZ	25,4	26,7
RUA 28	9000	1 mm/m	CZ	25,7	9
RUA 40	10080	3 mm/m	CZ	28,8	30,24
RUA 45	8490	10 mm/m	CZ + CX	24,3	84,9
RUA 48	8490	10 mm/m	CZ + CX	24,3	84,9

Fonte: elaboração própria.

– Altura dos níveis

As configurações dos módulos estão montadas conforme projeto *As-built* conforme item 4.1 e projeto complementar a este laudo.

– Instalação dos chumbadores

As sapatas estavam com os chumbadores instalados conforme ítem 9.9.1 da NBR 17150 (ABNT, 2024a), porém o torque de aperto não conforme, para cada tipo de perfil estrutural foi utilizado um tipo de chumbador, sendo eles o PARABOLT PBA 3/8"x 3.3/4", PARABOLT PBA 1/2" x 3.3/4" e M 10x75 mm. Somente as Ruas de 25 a 36 (fabricante longa industrial) com chumbadores PBA 1/2x3.3/4" apresentaram torque adequado de 60 N.m, conforme figura 24. As demais ruas apresentaram torque de aperto dos chumbadores não conforme, ou seja, não atingindo o torque mínimo de aperto.

Figura 24 – Verificação do torque dos chumbadores



Fonte: elaboração própria.

– Placa de identificação de carga

As placas de identificação estão instaladas corretamente, identificando a capacidade máxima admitida por nível de armazenagem, conforme recomendação da NBR 17150 (ABNT, 2024b), (laudo da capacidade de carga – Anexo B). Estão identificadas capacidades de carga por tipos de estruturas, garantindo a segurança na operação e carregamento das estruturas, conforme figura 25.

Figura 25 – Verificação das placas de identificação



Fonte: elaboração própria.

– Instalação de elementos de fixação

Foi verificado a instalação dos parafusos de fixação por amostragem e constatado que alguns elementos estão com o torque recomendado pelos fabricantes não conforme, sendo para o parafuso 5/16” o torque recomendado de 10N.m. O maior índice de reprova está em parafusos das travessas e diagonais dos montantes. Somente as Ruas de 25 a 36 (fabricante longa industrial) apresentaram torque adequado de 10 N.m conforme figura 26.

Figura 26 – Verificação do torque dos elementos de fixação



Fonte: elaboração própria.

– **Acessórios da estrutura**

Como ilustrado pela figura 27, a estrutura possui protetores de colunas de extremidades em todas as ruas.

Figura 27 – Protetores de colunas de extremidade



Fonte: elaboração própria.

Algumas ruas contam com protetores de colunas individuais, as ruas 25 a 36 (fabricante longa industrial) contém protetores de colunas em todos os montantes, as demais ruas tem protetores de colunas do tipo triedro em pontos diversos, conforme figura 28.

Figura 28 – Protetores de Colunas



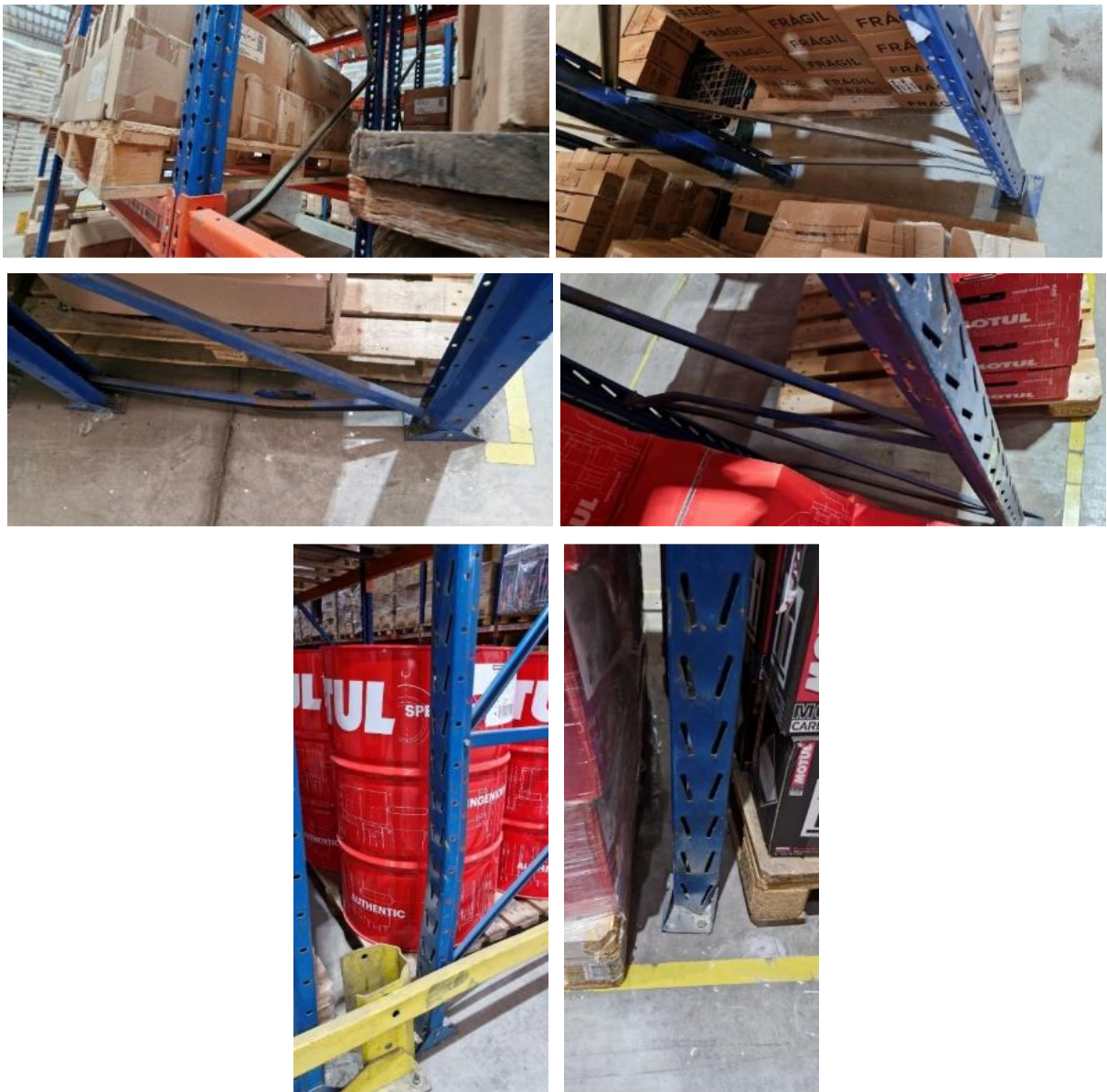
Fonte: elaboração própria.

– Danos da estrutura

a) Componentes danificados:

Foram encontrados pontos de danos na estrutura (figura 29), os mais graves em relação a componentes estruturais importantes danificados ou amassados, estão todos mapeados conforme projeto de mapeamento complementar ao laudo.

Figura 29 – Componentes danificados



Fonte: elaboração própria.

Os principais elementos danificados e com necessidade de substituição encontrados estão identificados e detalhados nas tabelas 2 a 7:

Tabela 2 – Componentes ruas 01 a 11

QT	COMPONENTE	DESCRIÇÃO
14	Travessa	Perfil C 30x16x9x930 mm
3	Diagonal	Perfil C 30x16x9X1145 mm
17	Coluna	M 80 x 10.050 mm
1	Longarina	Longarina 100x2.460 mm

Fonte: elaboração própria.

Tabela 3 – Componentes ruas 12 a 17 L.E

QT	COMPONENTE	DESCRIÇÃO
13	Travessa	Perfil 32x14x9x915 mm
17	Diagonal	Perfil C 32x14x9x1.335 mm
4	Coluna	M 82 x 10.160 mm
2	Longarina	Longarina 105x2.300 mm
4	Sapata	Sapata tipo B

Fonte: elaboração própria.

Tabela 4 – Componentes ruas 17 L.D a 25 L.E

QT	COMPONENTE	DESCRIÇÃO
8	Travessa	Perfil C 34x18x6x910 mm
17	Diagonal	Perfil C 34x18x6x1.070 mm
6	Coluna	M 86 x 8.900
2	Longarina	Sigma 100x2.300 mm
4	Sapata	Sapata tipo C
4	Montante Completo	8.900 x 1.000 mm

Fonte: elaboração própria.

Tabela 5 – Componentes ruas 25 L.D a 36 L.E

QT	COMPONENTE	DESCRIÇÃO
8	Travessa	Perfil C 34x20x7x938 mm
50	Diagonal	Perfil C 34x20x7x1120 mm
11	Sapata	Sapata tipo D
1	Protetor de colunas	Padrão

Fonte: elaboração própria.

Tabela 6 – Componentes ruas 37 a 42

QT	COMPONENTE	DESCRIÇÃO
58	Travessa	Perfil C 40x16x6x870 mm
51	Diagonal	Perfil C 40x16x6x1.290 mm
1	Coluna	M 90 x 10.080 mm

Fonte: elaboração própria.

Tabela 7 – Componentes ruas 43 a 49

QT	COMPONENTE	DESCRIÇÃO
77	Travessa	Perfil C 32x15x10x915 mm
138	Diagonal	Perfil C 32x15x10x1.335 mm
23	Coluna	M 84 x 8.490 mm
4	Montante Completo	8.490 x 1.000 mm

Fonte: elaboração própria.

Como sugestão para aquisição de peças e componentes para manutenção, foi indicado acrescentar de 20% a 30% a mais na quantidade mapeada, para efeito de troca por danos ocorridos entre o tempo de inspeção e a manutenção a ser realizada. Os fabricantes sugeridos são definidos com base em conhecimento dos tipos de perfis de mercado, podendo em alguns casos ser de outros fornecedores, ou já não serem mais produzidos por atualização de perfis dos fabricantes.

b) Oxidação de componentes

Foram encontrados pontos de oxidação (figura 30) em componentes estruturais nas Ruas 25 e 26 nos primeiros módulos, sendo em um local bem específico, não apresentam riscos para operação, porém é indicada a substituição destes itens que já estão mapeados e inclusos no item anterior estrutura tipo D.

Figura 30 – Componentes oxidados



Fonte: elaboração própria.

c) Pinos Trava

Foram encontradas longarinas com ausência dos pinos travas dos conectores, e algumas longarinas com parafusos instalados como pinos trava de forma irregular e não eficientes, conforme figura 31.

Figura 31 – Pinos trava: ausentes



Fonte: elaboração própria.

d) Junções de colunas – TIPO A

As colunas existentes e verticalizadas no tipo A presentes nas ruas 01 a 11 apresentam junções a aproximadamente 6.000 mm (figura 32), para fixação, as junções apresentam elementos de fixação do tipo de parafuso nos eixos Cx e Cz. Porém alguns pontos apresentam variação de esquadro no montante no sentido vertical.

Figura 32 – Junções de colunas



Fonte: elaboração própria.

e) Conectores das longarinas para plano *picking*

Foram encontrados conectores das longarinas para plano de picking não conformes, com apenas uma garra para engastamento nas colunas (figura 33). Gerando uma fixação ineficiente e prejudicial ao plano de carga, sendo possível identificar a realização de cortes das garras dos conectores para engastamento incorreto nas colunas causando um efeito de flexo-torção nas longarinas.

Figura 33 – Longarinas apresentando flexo torção

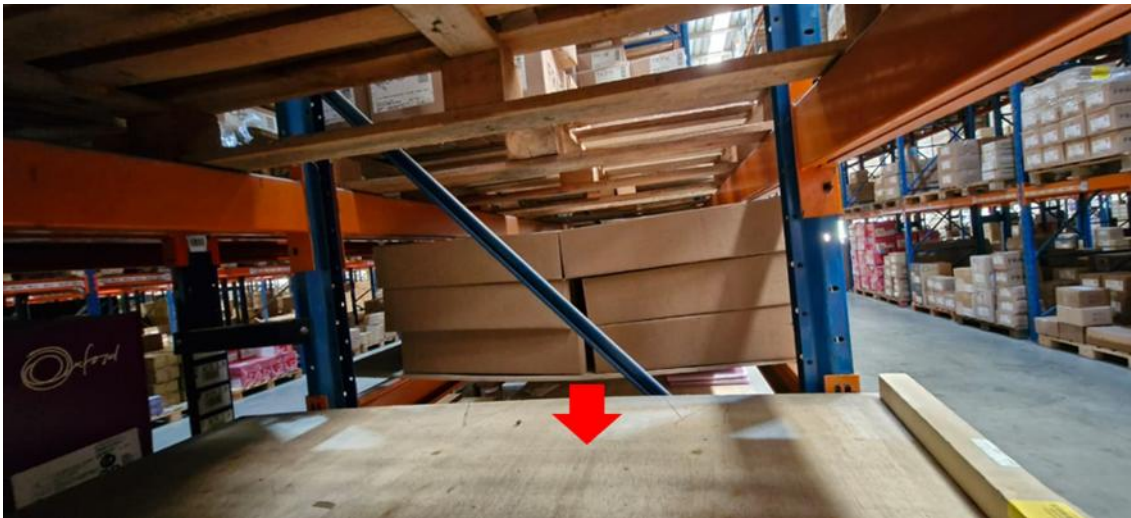


Fonte: elaboração própria.

f) Falta de Transversinas para apoio de plano picking

Os módulos em que foram adicionados planos para picking, necessitam de perfis de ligação entre as longarinas frontal e traseira do módulo, para garantir a estabilidade e resistência do plano de apoio em madeira para cargas. Nos módulos inspecionados da rua 17 L.E foi identificada a ausência destes perfis, causando a flexão dos planos de apoio de madeira para picking (figura 34):

Figura 34 – Plano de madeira com flexão excessiva



Fonte: elaboração própria.

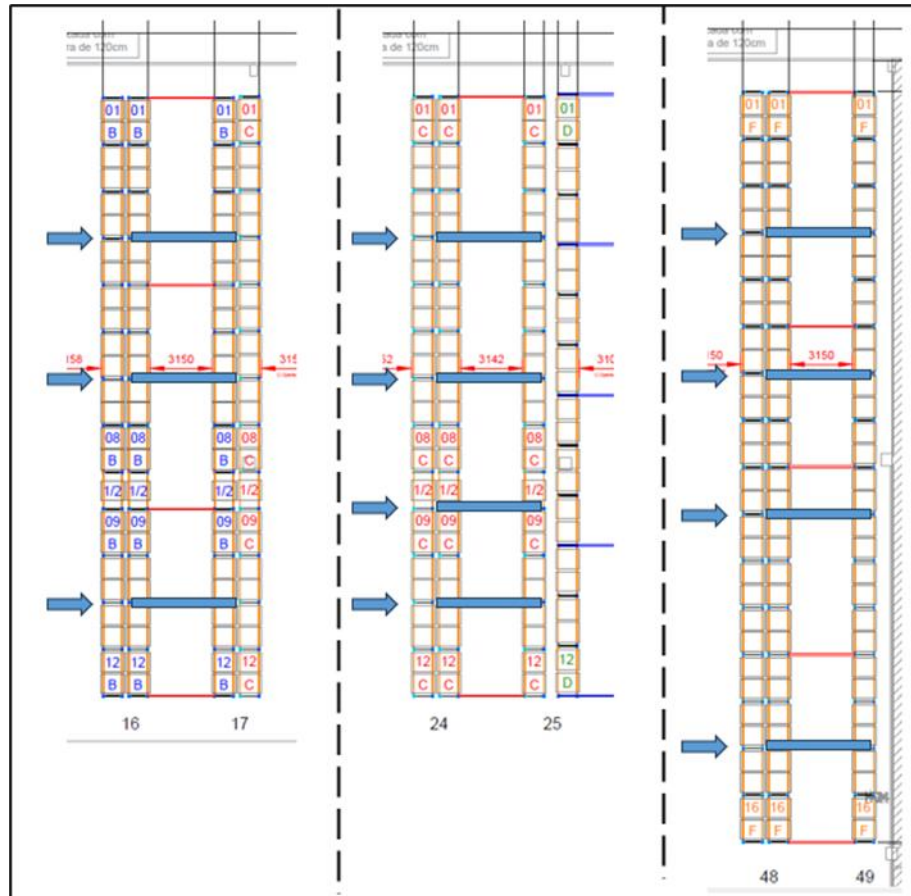
g) Travamentos Superiores

Foram encontrados os perfis de travamento superior com distanciamento não conforme a norma, que devem ser instalados com afastamento a cada 02 montantes livres. Os travamentos superiores fazem a ligação entre as ruas monofrontais e bi frontais para garantir a estabilidade da rua monofrontal e atender ao requisito de estabilidade da NBR 17150 (ABNT, 2024a).

As principais ruas que precisam de correção de posicionamento e instalação de perfis de travamentos superiores adicionais: Ruas 16 e 17, Ruas 24 e 25 e Ruas 48 e 49.

Na figura 35 consta a sugestão de reposicionamento dos perfis de travamento superior para as ruas monofrontais e bi frontais que estão não conforme o exigido em norma, pode ser necessária a aquisição de perfis adicionais de travamento superior. Ruas 16 e 17, Ruas 24 e 25 e Ruas 48 e 49:

Figura 35 – Posição travamento superior

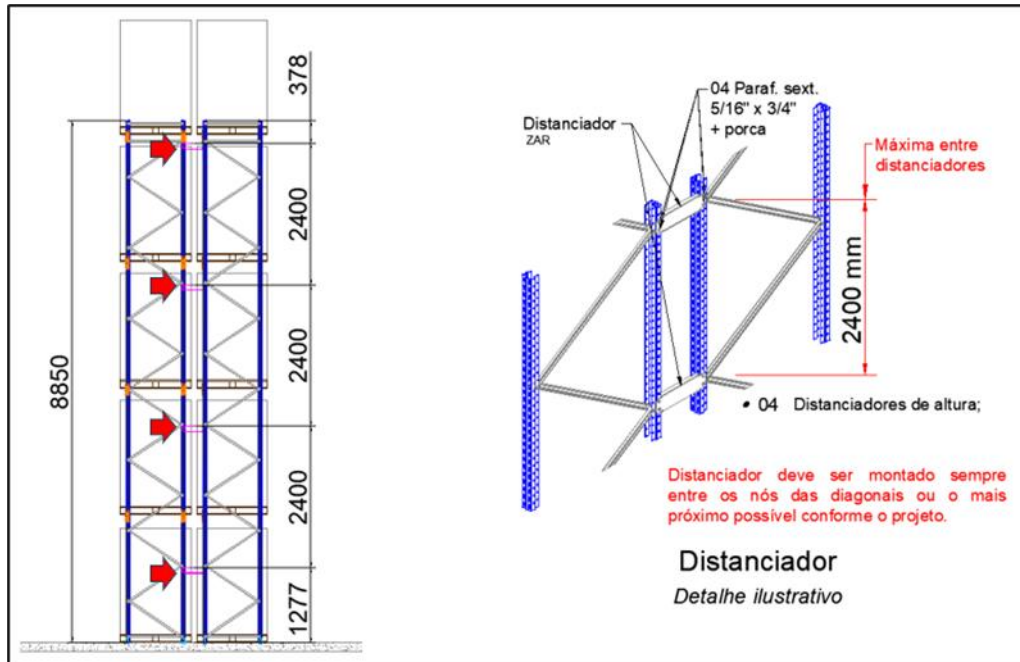


Fonte: elaboração própria.

h) Distanciadores ruas bi frontais

Os elementos de travamento entre as ruas para formar as ruas bi frontais são denominados como distanciadores de altura, estes elementos são projetados para garantir a estabilidade das estruturas em ruas bi frontais, sendo requisito de norma sua aplicação e conforme dimensão máxima de afastamento definida conforme a figura 36.

Figura 36 – Distribuição de distanciadores

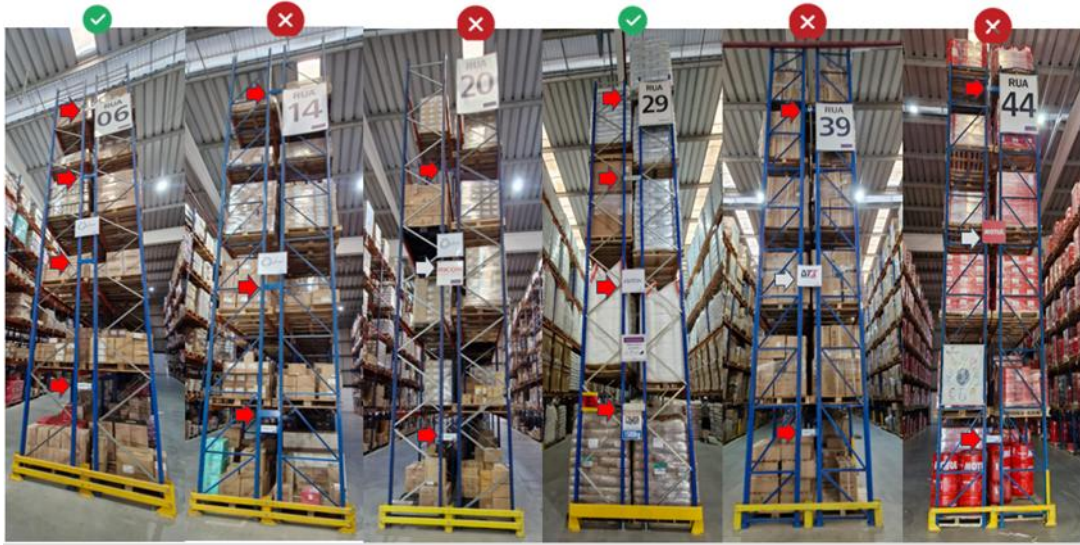


Fonte: elaboração própria.

Foram encontradas ruas bi frontais com distanciadores com quantidade insuficiente e alturas entre distanciadores não conforme a orientação da norma NBR 17150 (ABNT, 2024a), sendo que ruas bi frontais Tipo A e Tipo D estão com 04 distanciadores distribuídos na altura total dos montantes com a dimensão entre eles conforme norma.

As ruas bi frontais do Tipo B, Tipo C, Tipo E e Tipo F contam com apenas 03 distanciadores distribuídos na altura total dos montantes com dimensão entre eles não conforme norma, para correta aplicação precisariam estar com distanciadores distribuídos a uma distância entre eles menor que 2400 mm (figura 37).

Figura 37 – Distanciadores conforme e não conformes

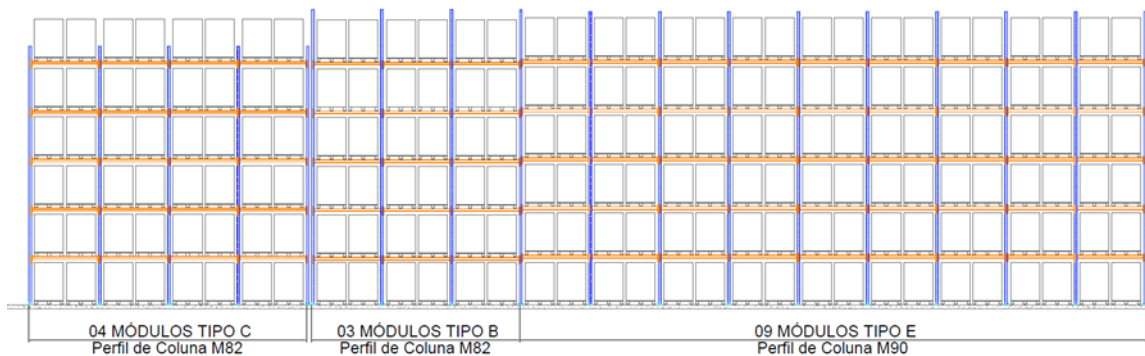


Fonte: elaboração própria.

i) Rua 36 L.D – Risco de operação

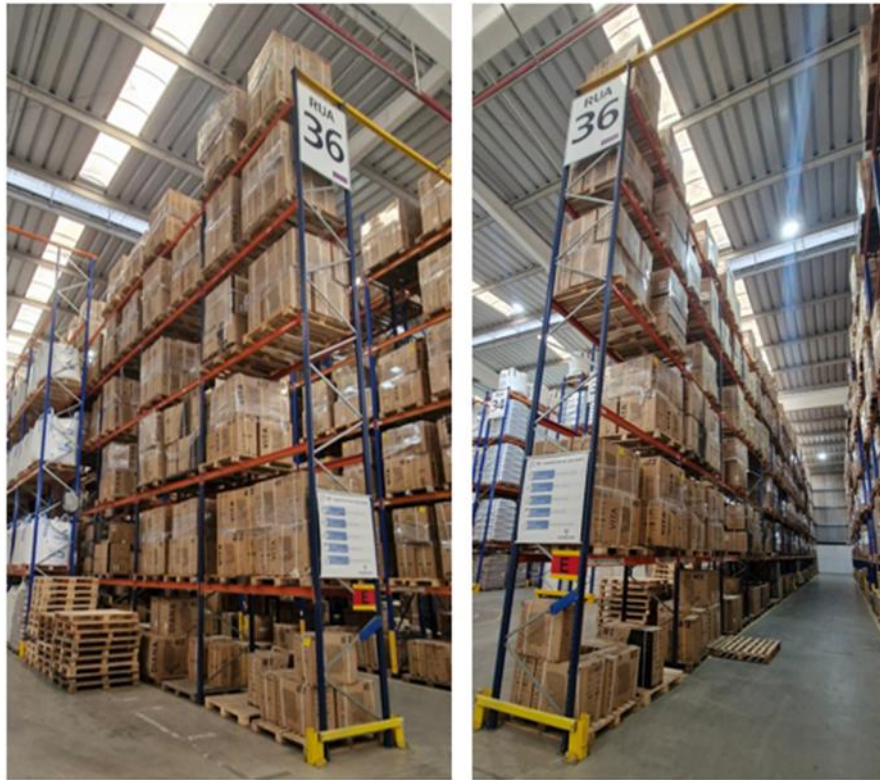
A Rua 36 L.D possui diversos pontos de atenção e não conformidades, são 16 módulos distribuídos ao longa da rua, porém a configuração é de 09 módulos do tipo E + 03 módulos do tipo B + 4 módulos do tipo C com os respectivos perfis estruturais divergentes (figuras 38 e 39):

Figura 38 – Vista frontal rua 36 L.D



Fonte: elaboração própria.

Figura 39 – Rua 36 lado direito



Fonte: elaboração própria.

As diversas não conformidades encontradas trazem um certo risco para operação nesta rua em específico, dentre elas estão:

- Apenas 02 Travamentos superiores em toda rua;
- Distanciadores irregulares;
- 03 tipos diferentes de perfis estruturais na mesma rua;
- Impossibilidade de travamento superior, perfis desalinhados com a rua em frente;
- Torque baixo de chumbadores;
- Torque baixo de travessas e diagonais;
- Risco de queda.

– Fase de conclusão da inspeção

Com base na inspeção realizada, coleta e análise dos dados, foi elaborado um Laudo de análise da estrutura, apontando que a estrutura de armazenagem

apresentava alguns pontos com necessidade de manutenção para correção, sendo os mais destacados em ordem de gravidade:

- Rua 36 – L.D , conforme item 4.11.
- Componentes danificados e amassados, conforme item 4.11.
- Junções das colunas, conforme item 4.11.
- Distanciadores das ruas bi frontais, conforme item 4.11.
- Desnível e Prumo da estrutura, conforme item 4.3 e 4.5.
- Baixo torque dos elementos de fixação, conforme item 4.9.
- Baixo torque dos chumbadores, conforme item 4.7.
- Instalação dos pinos trava, conforme item 4.11.
- Travamentos superiores, conforme item 4.11.
- Conectores das longarinas dos planos para picking, conforme item 4.11.
- Transversinas dos planos para picking, conforme item 4.11.

Diante do exposto e conforme análise realizadas, foram elencadas no laudo as seguintes orientações de ações corretivas:

- Rua 36 – L.D operação com armazenagem de materiais mais leves possível até a desmontagem e substituição de toda a Rua de estrutura de armazenagem.
- Troca dos componentes danificados e amassados por perfis novos de fabricantes com aço estrutural conforme normas quando aplicável, sendo também aplicável aos perfis com oxidação das Ruas 25 e 26.
- Reaperto total de todas as junções, inclusão de parafusos faltantes e verificação da condição de esquadro do montante antes e pós junção.
- Aquisição e montagem dos distanciadores com distância máxima entre eles de 2.400 mm, conforme ítem 4.11; (Exceto das estruturas entre as Ruas 25 a 36).
- Verificação e correção do desnível da estrutura conforme os requisitos da NBR 17150 (ABNT, 2024b) com a utilização de calços adequados, nas ruas e áreas definidas no item 4.3 – Figura 03.

- Verificação e correção de possíveis pontos não conformes do prumo da estrutura com a utilização de calços adequados de todas as estruturas (Exceto das estruturas entre as Ruas 25 a 36 fabricante longa), conforme os requisitos da NBR 17150 (ABNT, 2024b) e conceitos abordados no item 4.5.
- Reaperto total dos chumbadores das estruturas, com o torque adequado mínimo de 60 Nm para os chumbadores M10x 75 mm e mínimo de 30 Nm para os chumbadores PBA 3/8x3.3/4" (Exceto das estruturas entre as Ruas 25 a 36 fabricante longa).
- Reaperto total da estrutura, sendo os parafusos de travessas, diagonais e sapatas com o torque adequado mínimo de 10 Nm para os parafusos de 5/16"; (Exceto das estruturas entre as Ruas 25 a 36 fabricante longa).
- Adequação dos pinos trava, instalação de parafusos 5/16" com porcas, ou aquisição de pinos travas de fabricantes de estrutura de armazenagem que se adequem a função após teste de travamento e fixação das longarinas.
- Reposicionamento e aquisição dos perfis de travamento superior necessários conforme item 4.11.
- Troca das longarinas de apoio de picking por longarinas com conectores adequados e instalação de transversinas para apoio do plano madeira.
- É recomendado realizar a inspeção técnica das estruturas anualmente, conforme NBR 17150 (ABNT, 2024b), para evitar danos graves a estrutura que podem causar acidentes e queda das estruturas.

6.1.1.1 Considerações sobre o primeiro estudo de caso

Logo após a aplicação da metodologia proposta e entrega dos Laudos de Análise da estrutura e de capacidade de cargas (Anexo A), a diretoria do grupo empresarial responsável pelo Galpão A apurou os custos para aquisição de uma nova estrutura de armazenagem do tipo porta-paletes, com capacidade semelhante para 14.682 posições de paletes, o que representaria um investimento aproximado de R\$ 5.138.700,00 (valor médio de mercado em 2024). Além disso, seriam necessários custos adicionais de desmontagem e montagem das estruturas, bem como o enfrentamento dos impactos nas operações logísticas diárias.

Em contrapartida, todas as ações de manutenção necessárias, conforme inspeção e análises realizadas, representariam um investimento de aproximadamente R\$ 600.000,00, incluindo a contratação de equipe especializada, aquisição de componentes para substituição de peças avariadas e emissão das documentações de engenharia para validação. Esse processo teria impacto muito menor na operação logística, já que poderia ser executado de forma planejada e em fases.

Diante dessa comparação, o grupo empresarial decidiu seguir a recomendação apontada pela metodologia proposta nesta pesquisa e realizar as manutenções em toda a estrutura. Essa decisão representou um investimento de apenas 11,7% do valor que seria necessário para a aquisição de estruturas novas, tornando viável o reuso das estruturas metálicas de armazenagem, em conformidade com os requisitos normativos e com as exigências dos clientes.

Os demais documentos, como o laudo de capacidade de carga, o projeto *as-built*, o projeto de desnível e os projetos de mapeamento, encontram-se no Anexo A.

6.1.2 Galpão logístico B

Nesta seção é apresentado o estudo de caso do Galpão Logístico B, localizado em um polo industrial nacional na cidade de Jaraguá do Sul – SC. O galpão tem como foco principal a armazenagem de carcaças de motores elétricos, fabricados em linha de produção, paletizados e armazenados em estruturas metálicas do tipo porta-paletes, utilizadas em conjunto com equipamento automático do tipo robô transelevador.

A realização deste estudo de caso foi possível porque o grupo empresarial controlador do Galpão Logístico B programou a substituição do robô transelevador que opera na estrutura de armazenagem. A empresa pode interromper a operação apenas para a troca do equipamento, já que a armazenagem é responsável por dar suporte direto à linha de produção, armazenando cerca de 85% das carcaças de motores produzidas.

Diante dessa necessidade, surgiu a demanda pela análise técnica das estruturas, com o objetivo de validar o reuso das estruturas existentes para a instalação do novo robô, de outro fabricante, garantindo a continuidade da operação logística. Para atender a essa solicitação, foi aplicada a metodologia proposta nesta pesquisa, contemplando todas as etapas para a análise da estrutura.

A etapa de planejamento foi previamente validada junto aos responsáveis pelo Galpão Logístico B, seguida da fase de execução. Os resultados da fase de Análise estão compilados a seguir, seguidos dos detalhes da fase de conclusão.

6.2 Análise do sistema de armazenagem

O Sistema de armazenagem inspecionado e relatado é do tipo estrutura estática Porta Pallets, projeto técnico 70-100264, fabricante XXX. A estrutura apresenta visualmente boas condições de acabamento, porém com alguns sinais de desgaste por operação em alguns componentes, por data de projeto a estrutura está instalada e em operação na presente data deste laudo.

Normas técnicas aplicadas:

- Sistemas de armazenagem. Parte 1: Requisitos para projeto estrutural (ABNT, 2024a)
 - Sistemas de armazenagem. Parte 2: Tolerâncias, deformações e folgas para projetos (ABNT, 2024b).
 - Dimensionamento de estruturas de aço constituída por perfil formados a frio- Procedimentos (ABNT, 2010).
 - Basis of calculations for storage and retrieval machines - Tolerances, deformations and clearances in the storage system (FEM, 2012).
- **Objetivo:**

Esta análise tem por objetivo evidenciar e relatar a inspeção a técnica do sistema de armazenagem descrito no ítem 1. Visando a análise das condições gerais de estado, conservação e operação das estruturas, bem como a verificação de conformidade com as normas técnicas aplicadas, seguindo as premissas da ABNT NBR 17150:2024 (partes 1 e 2) ítem 4.5.2 Classe 100 – Transelevador e FEM 9.831-1 / FEM 10.3.01-1 ítem 4.11.1 Rack classification Class 100, de modo a garantir a segurança da utilização das estruturas de armazenagem. Este relatório se refere a inspeção de estrutura instalada conforme tempo de utilização relacionado no ítem 1. O responsável pelo uso das estruturas de armazenamento deverá providenciar as inspeções periódicas conforme frequência definida na NBR 17150 (ABNT, 2024b)

sendo necessário pelo menos uma inspeção anual por pessoal técnico habilitado, de modo a garantir a segurança na utilização das estruturas.

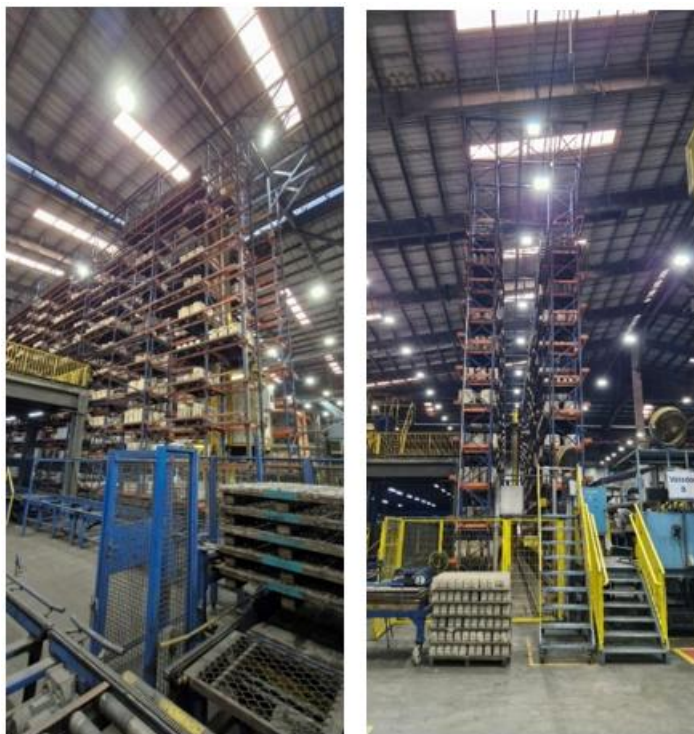
– **Inspeção da estrutura:**

A inspeção foi realizada nos dias 12 e 13 de Julho de 2025, pelo responsável técnico Tiago Franco, e acompanhada pelo administrador do Galpão B.

– **Montagem conforme projeto:**

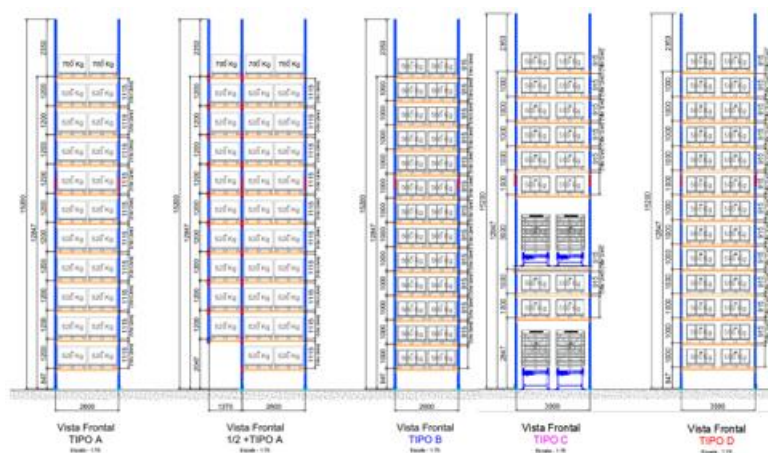
Projeto de referência fabricante 70-100264. Porém pós inspeção foi feito o projeto *As-built* da estrutura. A estrutura Porta Pallets para operação de sistema automatizado transelevador instalado e em operação, é composta por 04 tipos de módulos de armazenagem com configurações distintas, sendo do TIPO A com armazenagem de 06 módulos de 11 níveis com 02 pallets por nível + 02 mênulas com 10 níveis com 01 pallet por nível totalizando 154 posições pallets, TIPO B com armazenagem de 24 módulos de 13 níveis com 02 pallets por nível totalizando 624 posições pallets, TIPO C com armazenagem de 01 módulo de 08 níveis com 02 pallets por nível totalizando 26 posições pallets, TIPO D com armazenagem de 01 módulo de 13 níveis com 02 pallets por nível totalizando 154 posições pallets (figuras 40 e 41). A capacidade total de armazenagem da estrutura é de 820 Posições pallets.

Figura 40 – Estruturas de armazenagem analisadas



Fonte: elaboração própria.

Figura 41 – Configurações dos módulos de armazenagem



Fonte: elaboração própria.

– Operação do centro de distribuição

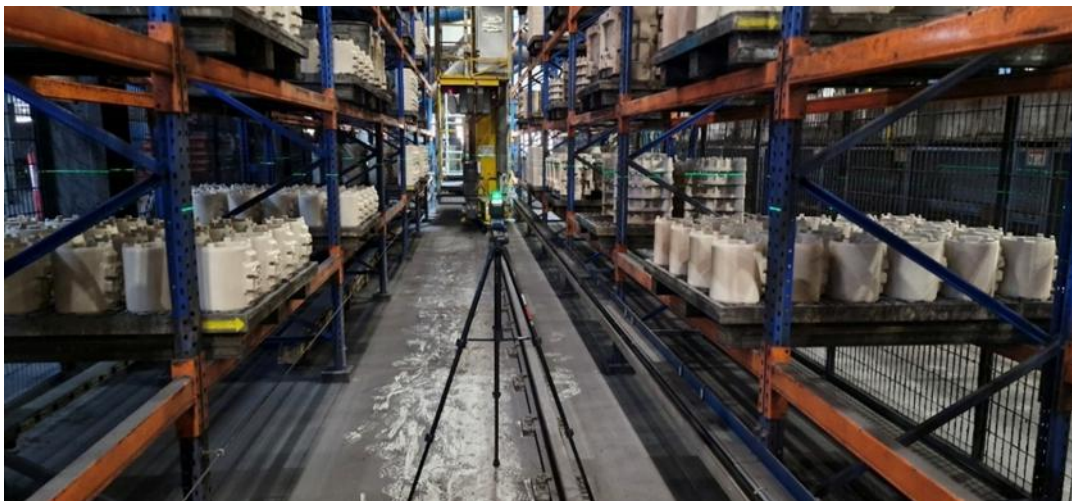
O equipamento estava inoperante para realização da inspeção e as estruturas estavam parcialmente abastecidas.

– Análise do nivelamento da estrutura

A estrutura (figura 42) está fixada no piso com chumbadores, sendo eles barras roscadas de 1/2" + porcas e contra porcas para nivelamento e o componente para

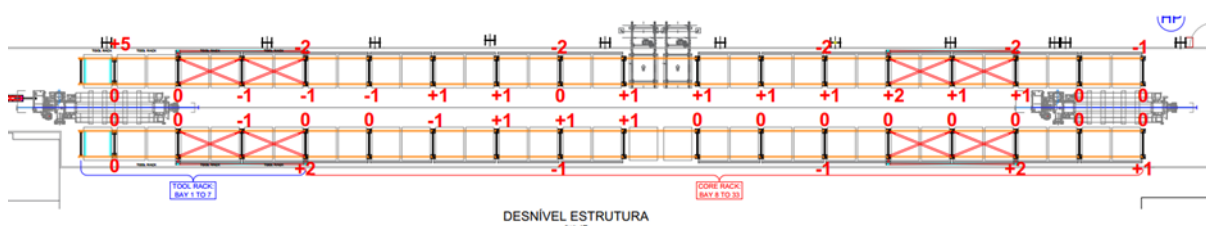
calço e estabilidade da estrutura por composto de microconcreto de alta resistência do tipo Graute. Foi verificado o nivelamento da estrutura em diversos pontos sobre a sapata de cada montante e isoladamente sobre o piso na mesma direção das sapatas:

Figura 42 – Verificação do desnível da estrutura



Fonte: elaboração própria.

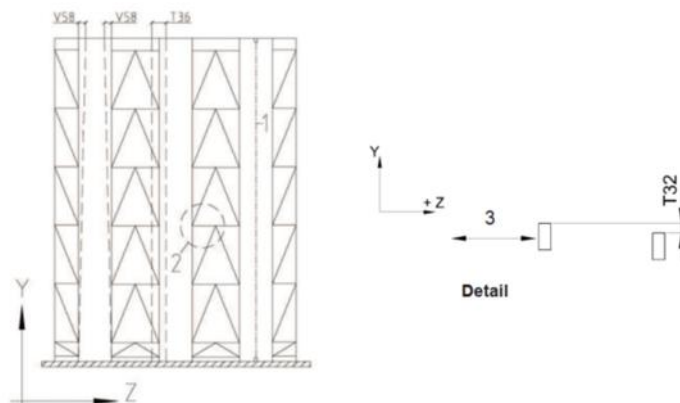
Figura 43 – Desnível da estrutura



Fonte: elaboração própria.

Em verificação do desnível da estrutura (figura 43) foram identificados pontos que excedem o limite normativo dos critérios solicitados pelo item 7.2 da NBR 17150 (ABNT, 2024b) tabela 12 (Hy) e item 4.1.1.2.3 FEM 9.831 (T32). O ponto mais baixo encontrado sendo 0 mm e o ponto mais alto encontrado sendo +5 mm, resultando em um máximo desnível verificado de 5 mm na mesma rua de estrutura Porta Pallets. O maior impacto do desnível se dará na tolerância normativa exigida de Hy/T32 na direção do eixo Y em relação a estrutura impactando no desalinhamento das longarinas frontal e traseira, definido por normas como +2/-4 mm (figura 44).

Figura 44 – Tolerância T32 – FEM 9.831-1

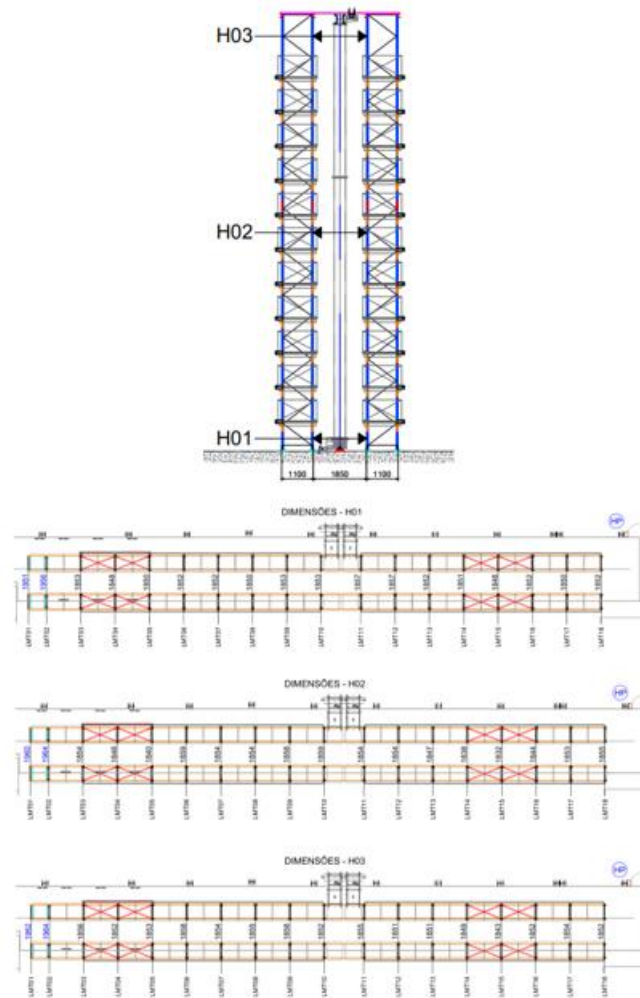


Fonte: figura 9b (FEM, 2012).

– **Análise do alinhamento da estrutura**

Foi realizada a verificação do alinhamento e centralização da estrutura para análise em relação aos principais critérios estabelecidos nas normas NBR 17150 (ABNT, 2024b) e FEM 9.831 (2012) que garantem a geometria de alinhamento da estrutura, conforme dimensões realizadas: (Corredores nominais = 1950mm e 1850 mm).

Figura 45 – Medições de alinhamento geral da estrutura



Fonte: elaboração própria.

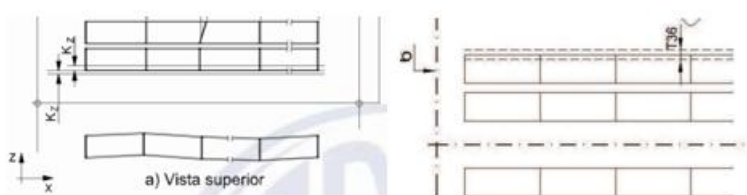
A verificação do alinhamento (figura 45) em relação ao eixo Z definido por normas, conforme os critérios solicitados pelo item 7.2 da NBR 17150 (ABNT, 2024b) tabela 11 (Hz) e item 4.1.1.2.2 FEM 9.831 (T36), analisadas as variações do alinhamento das colunas em uma linha de porta paletes, resultado do deslocamento das placas de base, do desaprumo e da curvatura inicial das colunas sobre a altura total. De acordo com as variações encontradas estão no plano de H1 = 11 mm, H2 = 27 mm e H3= 15 mm. O maior impacto do desalinhamento se dará na tolerância normativa exigida de Hz/T36 na direção do eixo Z em relação a estrutura definido por normas como desvio máximo de $H_z/T36 = \pm 15$ mm portanto $\Delta = 30$ mm, sendo assim os pontos mais próximos do máximo permitido estão em H2 com 27mm, porém ainda assim dentro dos critérios normativos (figuras 46 e 47):

Figura 46 – Alinhamento Hz/T36 em nível H02



Fonte: elaboração própria.

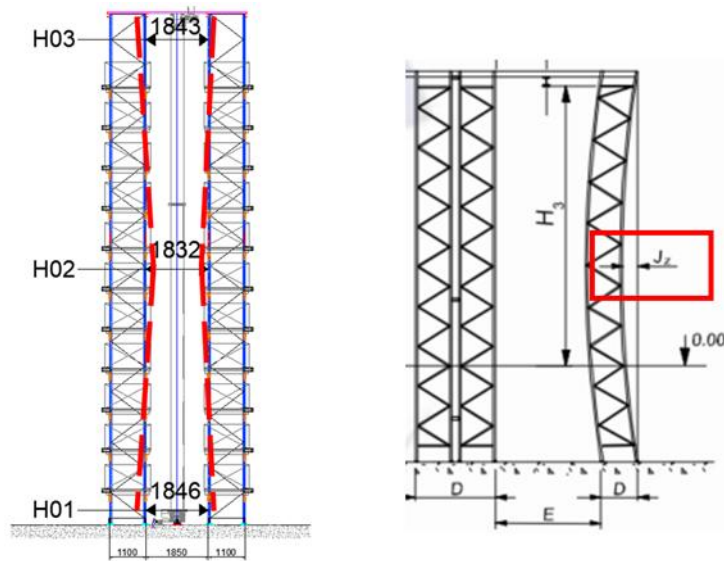
Figura 47 – Tolerância HZ/T32



Fonte: critérios Hz/T36 (ABNT, 2024b); FEM (2012).

A verificação do alinhamento e deformação geral do montante em relação ao eixo Y definido por normas, conforme os critérios solicitados pelo item 7.2 da NBR 17150 (ABNT, 2024b) tabela 11 (J_z) e item 4.11.3.2 FEM 9.831 (V23), analisada a variação do alinhamento e curvatura do montante e coluna em uma linha vertical de referência no eixo Y de porta paletes, resultado na deformação linear de um montante. De acordo com as variações encontradas estão as maiores variações encontradas em LMT 01 = 11 mm, LMT 05 = 13 mm, LMT 14 = 13 mm e LMT 15 = 14 mm. O maior impacto da curvatura do montante se dará na tolerância normativa exigida de $J_z/V23$ na direção do eixo Y em relação a estrutura definido por normas como desvio máximo de $J_z/V23 = 15$ mm, sendo assim o ponto mais próximo do máximo permitido está em LMT 15 com 14 mm, porém ainda assim dentro dos critérios normativos (figura 48):

Figura 48 – Desvio de alinhamento LMT15



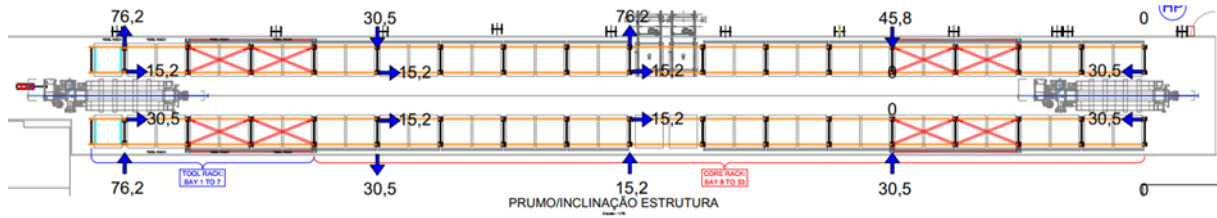
Fonte: critérios $J_z/V23$ (ABNT, 2024b); FEM (2012).

– Análise da inclinação da estrutura

Foi verificado o prumo da estrutura e constatado que está não conforme os critérios estabelecidos pela ABNT NBR 17150:2024 (parte 2) e FEM 9.831 (2012), sendo os pontos medidos Nas extremidades dos montantes para identificar o maior ponto de deslocamento lateral (C_x) e frontal ($C_z/V20$).

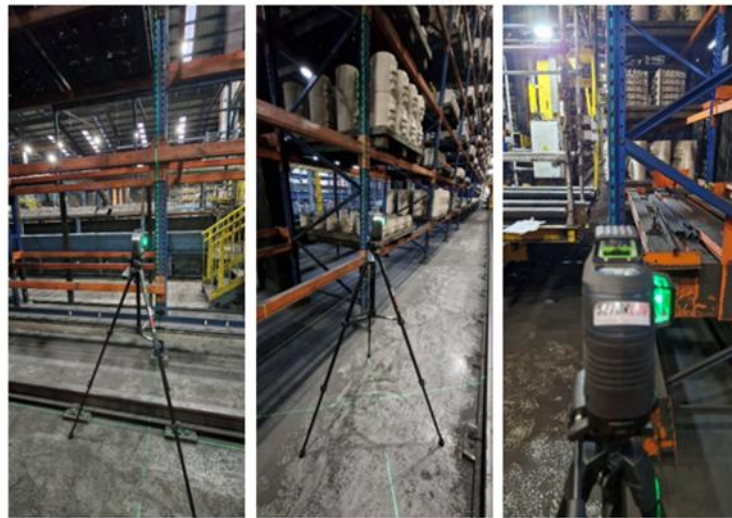
Com base na altura do montante da estrutura de aproximadamente 15.250 mm, o deslocamento máximo permitido para prumo lateral e frontal é de C_x (lateral) e $C_z/V20$ (frontal) = ± 15 mm portanto $\Delta = 30$ mm, sendo que o deslocamento máximo encontrado nos pontos de extremidade foram de $C_z/V20 = 76,2$ mm e $C_x = 30,5$ mm estando estes montantes não conformes em relação a inclinação (prumo) da estrutura. Para efeito de manutenção geral da estrutura em ações de manutenção os montantes devem ser 100% verificados, pois a operação contínua somada ao desnível da estrutura ao longo do tempo podem gerar desaprumos pontuais (figura 49 e 50).

Figura 49 – Inclinação da estrutura



Fonte: elaboração própria.

Figura 50 – Verificação de inclinação e prumo da estrutura



Fonte: elaboração própria.

– Altura dos níveis

As configurações dos módulos estão montadas conforme projeto original fabricante 70-100264 de instalação e *As-built* conforme o projeto complementar a este laudo.

– Instalação dos chumbadores

As sapatas estão com os chumbadores instalados (figura 51) conforme item 9.9.1 da NBR 17150 (ABNT, 2024a), com chumbadores sendo barras roscadas de 1/2" + porcas e contra porcas para nivelamento e o componente para calço e estabilidade da estrutura por composto de microconcreto de alta resistência do tipo Graute. porém com torque de aperto conforme, mas por tempo de instalação da estrutura é indicado o reaperto total.

Figura 51 – Chumbadores das estruturas



Fonte: elaboração própria.

– **Placa de identificação de carga**

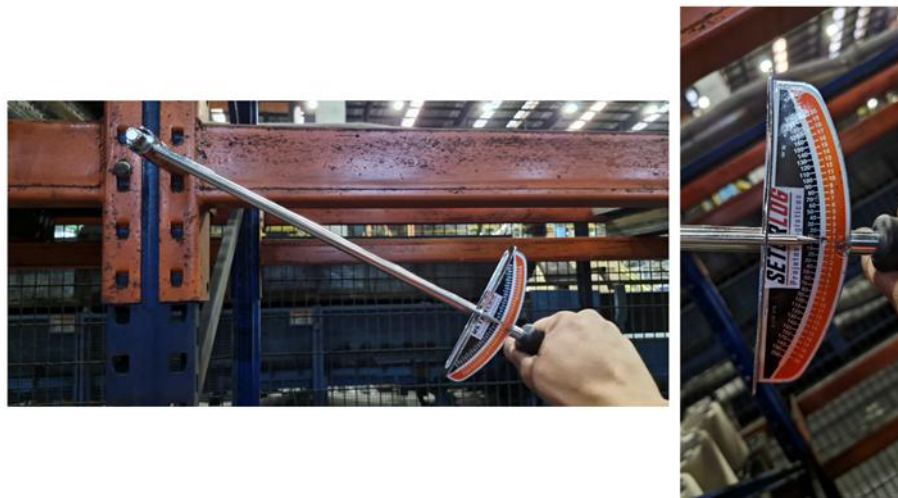
As placas de identificação não foram instaladas corretamente, identificando a capacidade máxima admitida por nível de armazenagem, conforme recomendação da NBR 17150 (ABNT, 2024a). Estão identificadas capacidades de carga por tipos de estruturas e projeto técnico do fabricante da estrutura, garantindo a segurança na operação e carregamento das estruturas.

– **Instalação de elementos de fixação**

Foi verificado a instalação dos parafusos de fixação por amostragem e constatado que alguns elementos estão com o torque recomendado pelos fabricantes não conforme:

Fixação dos conectores das longarinas nas colunas, parafuso 5/16” com torque mínimo recomendado de 10N.m encontrados não conformes por amostragem (figura 52).

Figura 52 – Verificação torque



Fonte: elaboração própria.

Fixação dos conectores para fixação das travessas e diagonais nas colunas para formação dos montantes, parafuso 3/8" com torque mínimo recomendado de 24N.m encontrados não conformes por amostragem na estrutura.

Fixação dos conectores para fixação das sapatas nas colunas para fixação dos montantes, parafuso 1/2" com torque mínimo recomendado de 60N.m encontrados não conformes por amostragem na estrutura.

Fixação dos conectores para fixação dos demais elementos de contraventamento e reforços estruturais, que garantem a geometria e estabilidade na operação com equipamento automático, parafuso 5/8" com torque mínimo recomendado de 140N.m encontrados não conformes por amostragem na estrutura.

– Acessórios e elementos estruturais

A estrutura de armazenagem do tipo porta pallets se enquadra na forma construtiva da NBR 1750 ítem 5.1.3 Porta-paletes convencional com contraventamento e nos requisitos gerais da FEM 9.831, sendo assim possui elementos estruturais para garantir a estabilidade e correção das deformações da estrutura feitas quando a montagem e instalação da estrutura foi realizada.

- Contraventamento vertical

Para estabilização da estrutura e correção dos deslocamentos laterais encontram-se instalados os contraventamentos verticais (figura 53) em formato de torres no início e no final da estrutura em módulos duplos sequenciais. Compostos por

chapas metálicas de 65mmx6mm de espessura com fixação por parafuso + porca nas extremidades e em uma das extremidades com regulagem por esticador. Porém será necessário a correção de prumo lateral conforme descrito no ítem 4.5 e todo contraventamento vertical.

Figura 53 – Contraventamento vertical



Fonte: elaboração própria.

- Contraventamento horizontal

Para estabilização da estrutura e correção dos deslocamentos laterais internos nos módulos e correção do esquadro interno encontram-se instalados os contraventamentos horizontais em formato de torres no início e no final da estrutura em módulos duplos sequenciais, instalados em níveis de armazenagem intercalados iniciando no 2º nível de longarinas (figura 54). Compostos por chapas metálicas de 65mmx6mm de espessura com fixação por parafuso + porca nas extremidades e em uma das extremidades com regulagem por esticador, fixados em suportes soldados no interno das longarinas. Porém será necessário a correção de prumo lateral conforme descrito no ítem 4.5 e todo contraventamento horizontal.

Figura 54 – Contraventamento horizontal



Fonte: elaboração própria.

- Vigamento superior

Para estabilização da estrutura e suporte para o trilho superior do equipamento transelevador encontram-se instalados os vigamentos superiores fixados a estrutura na altura de 15250 mm (figura 55). Compostos por perfis estruturais metálicos tipo C 125x50x20x2,3mm com fixação por parafuso + porca nas extremidades superiores das colunas internas dos montantes e por ligação em sentido transversal e frontal a cada montante no sentido do corredor, formando um travamento superior. Porém será necessário a correção de alinhamento e revisão de torque de aperto de todos os parafusos de fixação dos vigamentos.

Figura 55 – Vigamentos superiores

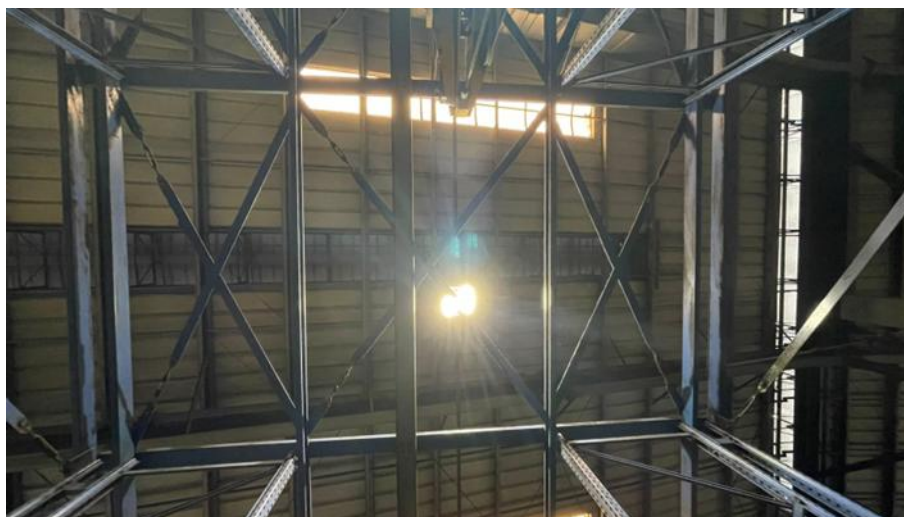


Fonte: elaboração própria.

- **Contraventamento superior**

Para estabilização da estrutura e correção dos deslocamentos laterais superiores com o trilho superior do equipamento transelevador, encontram-se instalados os contraventamentos superiores (figura 56), fixados a estrutura em suportes soldados aos perfis de vigamentos superiores, nas direções das torres de contraventamento vertical e horizontal e também presentes nos vigamentos superiores em balanço. Compostos por chapas metálicas de 65mmx6mm de espessura com fixação por parafuso + porca nas extremidades e em uma das extremidades com regulagem por esticador. Porém será necessário a correção de prumo lateral conforme descrito no ítem 4.5, juntamente com o alinhamento dos vigamentos superiores e todo contraventamento superior.

Figura 56 – Contraventamentos Superiores



Fonte: elaboração própria.

- **Retentores de pallets**

Para contenção de deslocamento de fundo dos pallets armazenados na estrutura, encontram-se instalados os retentores de pallets (figura 57), fixados a estrutura em suportes fixados por parafusos as colunas de fundo dos montantes em cada nível de armazenagem em cada módulo. Compostos por perfis metálicos U 50x50x1,5 mm e placa de fixação com fixação por parafuso + porca. Porém será necessário o reaperto e torque dos parafusos de fixação.

Figura 57 – Retentor de Pallets



Fonte: elaboração própria.

- Plano H Mêsulas

Para reforço estrutura nos módulos mêsula (1/2 módulo tipo A) dos pallets armazenados na estrutura, encontram-se instalados os planos H, fixados a estrutura em cada nível de armazenagem em cada módulo citado (figura 58). Compostos por perfis metálicos C 100x50x1,5 mm com fixação por parafuso + porca fixados em suportes soldados no interno das longarinas. Porém será necessário o reaperto e torque dos parafusos de fixação.

Figura 58 – Plano H Mêsulas



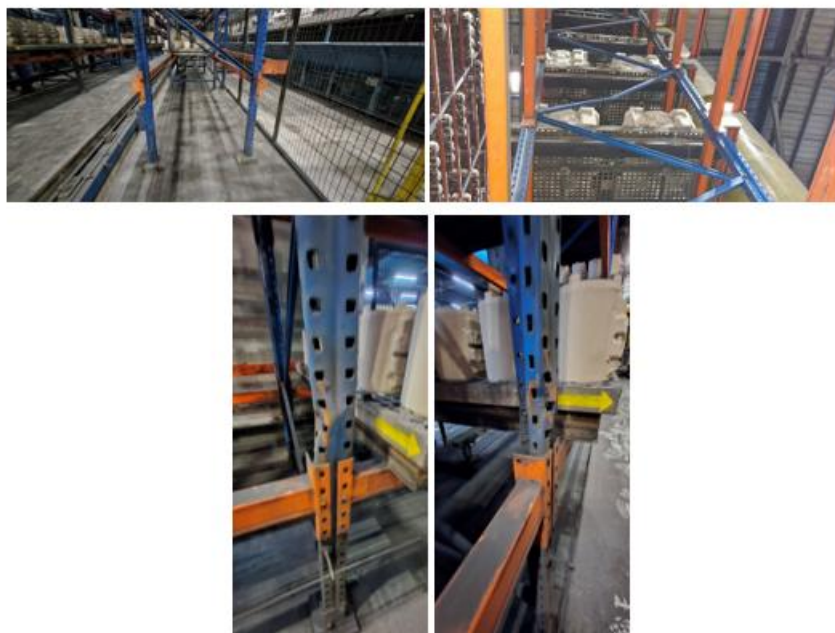
Fonte: elaboração própria.

– **Danos da estrutura**

- Componentes danificados

Foram encontrados pontos de danos na estrutura, os mais graves em relação a componentes estruturais importantes danificados ou amassados, estão todos mapeados conforme projeto de mapeamento complementar ao laudo (figura 59).

Figura 59 – Componentes danificados



Fonte: elaboração própria.

Os principais elementos danificados e com necessidade de substituição encontrados estão descritos na Tabela 8:

Tabela 8 – Componentes danificados

QT	COMPONENTE	DESCRIÇÃO	LOCAL
01	Travessa	Perfil C 40x20x9 mm	LMT02 – L.D LMT10 – L.E
05	Diagonal	Perfil C 40x20x9 mm	LMT11 – L.D LMT17 – L.D
01	Coluna	M 90 x 15.250 mm	LMT12 – L.E

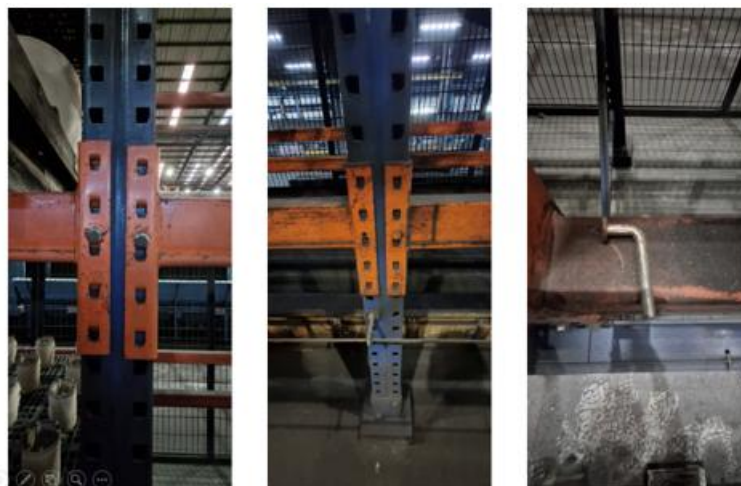
Fonte: elaboração própria.

Como sugestão para aquisição de peças e componentes para manutenção, propõe-se acrescentar de 20% a 30% a mais na quantidade mapeada, para efeito de troca por danos ocorridos entre o tempo de inspeção e a manutenção a ser realizada. Os fabricantes sugeridos são definidos com base em conhecimento dos tipos de perfis de mercado, podendo em alguns casos ser de outros fornecedores, ou já não serem mais produzidos por atualização de perfis dos fabricantes.

- Pinos travas

Foram encontradas longarinas com ausência dos pinos travas dos conectores, este elemento é de suma importância para garantir o engastamento das longarinas às colunas da estrutura (figura 60).

Figura 60 – Pinos trava ausentes



Fonte: elaboração própria.

- Junções de colunas

As colunas existentes e verticalizadas que formam os montantes apresentam junções a aproximadamente 8.500 mm, para fixação, as junções apresentam elementos de fixação do tipo de parafuso nos eixos Cx e Cz. Porém alguns pontos apresentam variação de esquadro no montante no sentido vertical (figura 61).

Figura 61 – Junções das colunas



Fonte: elaboração própria.

– Fase de conclusão da inspeção

Com base na inspeção realizada, coleta e análise dos dados, com verificação e validação aos requisitos das normas ABNT NBR 17150:2024 (parte 2) e FEM 9.831-1 (2012), foi elaborado um Laudo de análise da estrutura onde apontou-se que a estrutura de armazenagem apresentava alguns pontos com necessidade de manutenção para correção, sendo os mais destacados em ordem de gravidade:

- Desnível da estrutura.
- Alinhamento da estrutura.
- Prumo e inclinação da estrutura.
- Torque de aperto dos chumbadores.
- Torque de aperto dos elementos de fixação.
- Correções dos elementos estruturais.
- Componentes danificados e amassados.
- Instalação dos pinos trava.
- Junções das colunas.

Diante do exposto e conforme análise, foram elencadas no mesmo laudo as seguintes orientações de ações corretivas necessárias para o reaproveitamento da estrutura:

- Antes de realizar as manutenções seria necessário limpeza total da estrutura incluindo os locais de difícil acesso como os fundos em que o equipamento transelevador não opera.
- Correção do desnível da estrutura conforme os requisitos da NBR 17150 (ABNT, 2024b) e FEM 9.831 (2012).
- Correção do alinhamento geral da estrutura conforme os requisitos da NBR 17150 (ABNT, 2024b) e FEM 9.831 (2012).
- Correção do prumo e inclinação da estrutura conforme os requisitos da NBR 17150 (ABNT, 2024b) e FEM 9.831 (2012).
- Reaperto total dos chumbadores das estruturas, com o torque adequado mínimo de 60 Nm para os chumbadores.
- Reaperto total da estrutura, com aplicação dos torques mínimos:
 - Parafusos 5/16" conectores = 10N.m.
 - Parafusos 3/8" travessas e diagonais = 24 N.m.
 - Parafusos 1/2" sapatas = 60 N.m.
- Correções necessárias dos elementos estruturais de contraventamento horizontal e vertical, para garantir a estabilidade da estrutura e auxiliar nas correções de prumo e alinhamento geral da estrutura com base nos requisitos das normas ABNT NBR 17150:2024 (parte 2) e FEM 9.831:2012.
- Troca dos componentes danificados e amassados por perfis novos de fabricantes com aço estrutural conforme normas quando aplicável.
- Reaperto total de todas as junções, inclusão de parafusos faltantes e verificação da condição de esquadro do montante antes e pós junção.
- Adequação dos pinos trava, instalação de parafusos 5/16" com porcas, ou aquisição de pinos travas de fabricantes de estrutura de armazenagem que se adequem a função após teste de travamento e fixação das longarinas.
- Recomendado realizar a inspeção técnica das estruturas anualmente,

conforme ABNT NBR 17150:2024 (parte 1), para evitar danos graves a estrutura que podem causar acidentes e queda das estruturas.

6.3 Considerações sobre o segundo estudo de caso

Logo após a aplicação da metodologia proposta e entrega dos Laudos de Análise da estrutura e de capacidade de cargas (Anexo B), a diretoria do grupo empresarial responsável pelo Galpão B apurou os custos para aquisição de uma nova estrutura de armazenagem do tipo porta-paletes, com capacidade semelhante para 820 posições de paletes, o que representaria um investimento aproximado de R\$ 820.000,00 (valor médio de mercado em 2025). Além disso, seriam necessários custos adicionais de desmontagem e montagem das estruturas, bem como o enfrentamento dos impactos na operação de produção da fábrica.

Em contrapartida, todas as ações de manutenção necessárias, conforme inspeção e análises realizadas, representariam um investimento de aproximadamente R\$ 510.000,00, incluindo a contratação de equipe especializada, aquisição de componentes para substituição de peças avariadas e emissão das documentações de engenharia para validação. Esse processo teria impacto muito menor na operação de produção, já que poderia ser executado de forma planejada em fases, preferencialmente aos finais de semana.

Diante dessa comparação, o grupo empresarial decidiu seguir a recomendação apontada pela metodologia proposta nesta pesquisa e realizar as manutenções em toda a estrutura. Essa decisão representou um investimento de apenas 62% do valor que seria necessário para a aquisição de estruturas novas, tornando viável o reuso das estruturas metálicas de armazenagem, em conformidade com os requisitos normativos e, principalmente, evitando a paralisação da linha de produção.

Os demais documentos, como o laudo de capacidade de carga, o projeto as-built, o projeto de desnível e os projetos de mapeamento, encontram-se no Anexo B.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo se dedicou ao desenvolvimento de uma metodologia estruturada para o reuso seguro de estruturas metálicas de armazenagem em centros logísticos de distribuição. Ao final da pesquisa, demonstrou-se ser possível a consecução do objetivo central, que era preencher uma lacuna no setor ao propor um processo que, além de promover a Economia Circular, garantisse o pleno atendimento aos requisitos de segurança estabelecidos pelas normas técnicas nacionais.

A pesquisa fundamentou-se na análise rigorosa da ABNT NBR 17150:2024 (partes 1 e 2) e da ABNT NBR 8681:2004. Com isso, foi possível confirmar que o processo estruturado desenvolvido não apenas viabiliza o reaproveitamento de materiais – eliminando o consumo energético da refundição – mas também soluciona a falha atual das empresas, que frequentemente realizam a remontagem de estruturas sem a devida análise estrutural e de tolerância exigida pelas normas.

A aplicabilidade da metodologia foi testada em dois estudos de caso, que comprovaram sua validade como um processo seguro e eficiente. Os resultados foram expressivos no âmbito econômico, revelando economias de investimento de 78,3% e 38%, respectivamente, em comparação com a aquisição de estruturas novas, além de benefícios em economia de tempo e segurança operacional.

Uma limitação inerente a pesquisa reside na ausência de validação empírica em escala maior do que os dois estudos de caso conduzidos. Como recomendações para trabalhos futuros, sugere-se a extensão desta metodologia para o reuso de outros tipos de estruturas de armazenagem (como *drive-ins* e sistemas dinâmicos), bem como o desenvolvimento de pesquisas subsequentes focadas na manutenção preventiva e na análise de risco de componentes logísticos reutilizados.

REFERÊNCIAS

- ABDALLA, F. A.; FREIRE SAMPAIO, A. C. Os novos princípios e conceitos inovadores da Economia Circular. **Entorno Geográfico**, Cali, n. 15, p. 82-102, 2018. Disponível em: <https://entornogeografico.univalle.edu.co/index.php/entornogeografico/article/view/6712>. Acesso em: 26 mar. 2026.
- ABNT. **NBR 14762**: dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.
- ABNT. **NBR 17150-1**: sistemas de armazenagem: estrutura de armazenagem estática tipo porta-paletes: parte 1: requisitos para projeto estrutural. Rio de Janeiro: ABNT, 2024a.
- ABNT. **NBR 17150-2**: sistemas de armazenagem: estrutura de armazenagem estática tipo porta-paletes: parte 2: tolerâncias, deformações e folgas para projetos. Rio de Janeiro: ABNT, 2024b.
- ABNT. **NBR 6492**: documentação técnica para projetos arquitetônicos e urbanísticos: requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.
- ABNT. **NBR 8681**: ações e segurança nas estruturas: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- ABRALOG. **Relatório de desempenho logístico e crescimento do e-commerce no Brasil**. São Paulo: ABRALOG, 2023.
- BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos/logística empresarial**. Porto Alegre: Bookman, 2007.
- BALLOU, R. H. **Logística empresarial**: transporte, administração de materiais e distribuição física. São Paulo: Atlas, 2006.
- BERTAGLIA, P. R. **Logística e gerenciamento da cadeia de abastecimento**. São Paulo: Saraiva Educação, 2020.
- BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J.; COOPER, M. B. **Gestão da cadeia de suprimentos e logística**. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- BULLER, L. S. **Logística empresarial**. Curitiba: IESDE, 2012.
- CAMPELLO, M. L. C. Economia circular: afinal, o que é isso? *In*: CAMPELLO, M. L. C. (org.). **Logística**: contribuições para melhorias na produção e nos resultados. Guarujá: Científica Digital, 2021. p. 143-159. Disponível em: <https://doi.org/10.37885/210504480>. Acesso em: 26 mar. 2026.
- CAMPOS, V. F.; FLEURY, P. F.; WANKE, P. F. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos**. São Paulo: Atlas, 2021.

CARNEIRO, L. Fortuna *et al.* Logística reversa: desafios e promessas na busca de uma economia circular. CONGRESSO NACIONAL UNIVERSIDADE, EAD E SOFTWARE LIVRE, 13., 2022, [S. l.]. **Anais [...]**. [S. l.], 2022. v. 1.

CARVALHO, J. M. C. **Logística**. Lisboa: Sílabo, 2002.

CHRISTOPHER, M. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos: estratégias para a redução de custos e melhoria dos serviços**. São Paulo: Cengage Learning, 2016.

CNT. **Pesquisa CNT de transporte de cargas**. Brasília: CNT, 2019.

CONAB. **Capacidade estática de armazenagem no Brasil**. Brasília: CONAB, 2023.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. O que é a economia circular? Visão geral. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/pt/temas/economia-circular-introducao/visao-geral>. Acesso em: 26 mar. 2026.

FEM. **FEM 9.831-1**: basis of calculations for storage and retrieval machines: tolerances, deformations and clearances in the storage system: part 1: general, single deep and double deep beam pallet racking. Brussels: FEM, 2012.

LEITE, P. R. **Logística reversa**. São Paulo: Saraiva, 2017.

MECALUX. **Sistemas de armazenagem: porta-paletes (pallet racks)**. [S. l.], [2025]. Disponível em: <https://www.mecalux.com.br/prateleiras-estruturas-estoque-industrial/porta-paletes-pallet>. Acesso em: 26 mar. 2026.

MORAIS, R. **Gestão de centros de distribuição: tecnologias, processos e práticas aplicadas**. São Paulo: Atlas, 2021.

NOVAES, A. G. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição: estratégia, operação e avaliação**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

SANTOS, A. P. **Sistemas de armazenagem e movimentação: fundamentos e aplicações**. São Paulo: Saraiva, 2019.

SANTOS, J. da S. *et al.* Green Logistics: conceptualization and directions for practice. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 19, n. 2, p. 314-331, 2015. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/15912>. Acesso em: 26 mar. 2026.

SILVA, M. J. P.; GODOY JÚNIOR, E. Sustentabilidade no gerenciamento de recursos: o papel da economia circular e da logística reversa. **Revista Foco**, Curitiba, v. 16, n. 11, e3509, 2023. Disponível em: <https://ojs.focopublicacoes.com.br/foco/article/view/3509>. Acesso em: 26 mar. 2026.

SILVA, T. G. E. *et al.* Economia circular: um panorama do estado da arte das políticas públicas no Brasil. **Revista Produção Online**, Florianópolis, v. 21, n. 3, p. 951-972, 2021. Disponível em: <https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/view/4354>. Acesso em: 26 mar. 2026.

ANEXO A – LAUDO DE CAPACIDADE DE CARGA. ESTUDO DE CASO GALPÃO LOGÍSTICO A



LAUDO DE ANÁLISE

R.I 052.24 - REV. 0
DATA: 23/01/2024

RELATÓRIO DE ANÁLISE DE CAPACIDADE DE CARGA DE SISTEMA DE ARMAZENAGEM

Comercio Internacional LTDA
Rodovia BR 477 Km 7 - Nº 6.800 - Navegantes - SC
PORTA PALLETS

Responsável Técnico:
Tiago Franco

Data:
23/01/2025

Revisão:
00

Sumário

1	SISTEMA DE ARMAZENAGEM VERIFICADO	3
2	NORMAS TÉCNICAS APLICADAS	3
3	OBJETIVO.....	3
4	VERIFICAÇÃO E DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA	5
4.1	Estrutura Analisada	5
4.2	Operação.....	7
4.3	Perfis Estruturais.....	7
4.4	Método de Análise	8
4.5	TIPO A - RUAS 01 A 11	9
4.6	TIPO B - RUAS 12 A 17 L.E	13
4.7	TIPO C - RUAS 17 L.D A 25 L.E.....	17
4.8	TIPO D - RUAS 26 L.D A 36 L.E.....	21
4.9	TIPO E - RUAS 37 A 42	25
4.10	TIPO F - RUAS 43 A 48.....	29
5	CONCLUSÃO	33

1 SISTEMA DE ARMAZENAGEM VERIFICADO

O Sistema de armazenagem verificado e relatado é do tipo estrutura estática Porta Pallets, projeto técnico S/N, fabricante: *diversos*. A estrutura apresenta visualmente boas condições de acabamento, porém com alguns sinais de desgaste por operação em alguns componentes, por data de projeto a instrutura está instalada e em operação na presente data deste laudo.

2 NORMAS TÉCNICAS APLICADAS

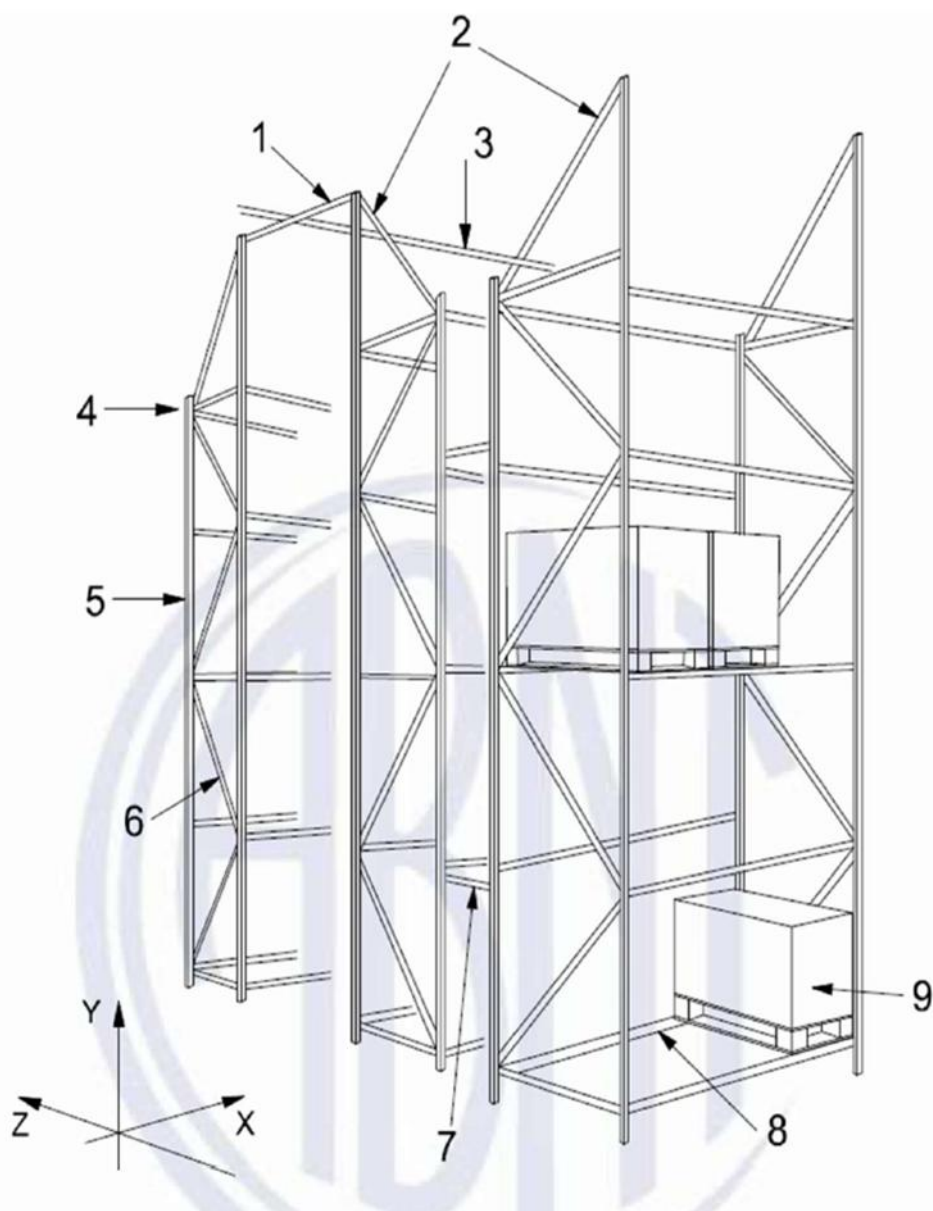
NBR 17150-1 - Sistemas de armazenagem. Parte1: Requisitos para projeto estrutural

NBR 17150-2 - Sistemas de armazenagem. Parte2: Tolerâncias, deformações e folgas para projetos

NBR 14762 – Dimensionamento de estruturas de aço constituída por perfil formados a frio-Procedimentos;

3 OBJETIVO

Este relatório tem por objetivo evidenciar e relatar a análise de capacidade de carga do sistema de armazenagem descrito no ítem 1. Visando a análise das cargas aplicadas aos perfis metálicos estruturais sob as condições gerais de estado, conservação e operação das estruturas, bem como a verificação de conformidade com as normas técnicas aplicadas, seguindo as premissas da NBR 14762 e NBR 17150 item 4.5.2 Classe 400 – Corredor estreito, de modo a garantir a segurança da utilização das estruturas de armazenagem. Este relatório se refere a análise das estruturas instaladas conforme tempo de utilização relacionado no ítem 1. O responsável pelo uso das estruturas de armazenamento deverá providenciar as análises periódicas conforme frequência definida na NBR 17150, sendo necessário pelo menos uma inspeção anual por pessoal técnico habilitado, de modo a garantir a segurança na utilização das estruturas para operação.



Legenda

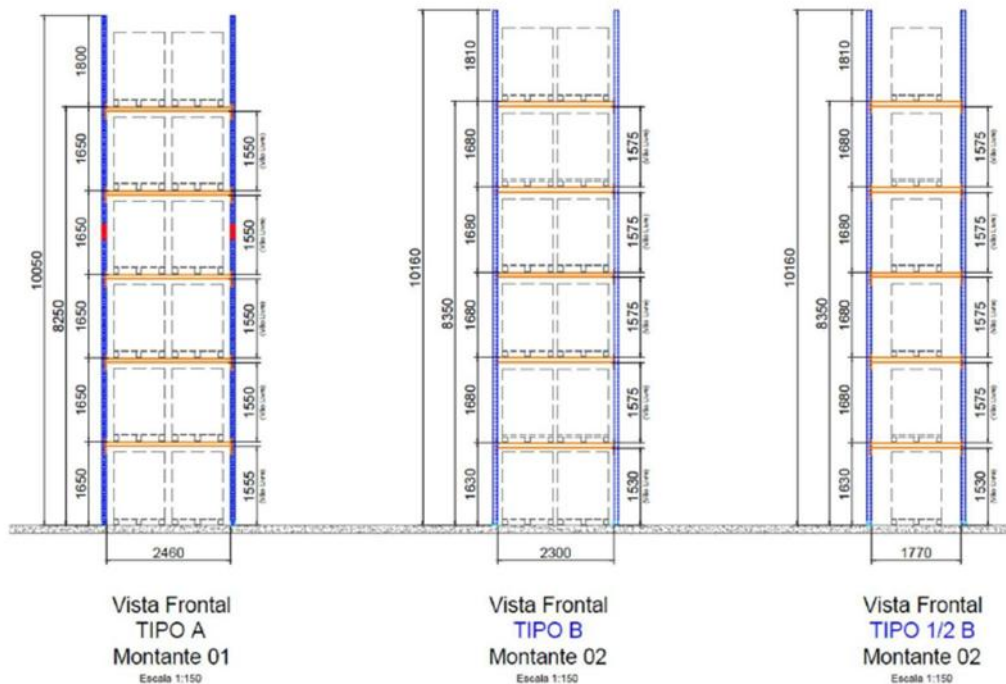
- 1 travamento superior
- 2 porta-paletes com dupla entrada
- 3 trilho-guia superior
- 4 montante
- 5 porta-paletes de simples entrada
- 6 contraventamento do montante
- 7 distanciador
- 8 longarina
- 9 unidade de carga
- X eixo na direção paralela ao corredor
- Y eixo na direção vertical
- Z eixo na direção transversal ao corredor

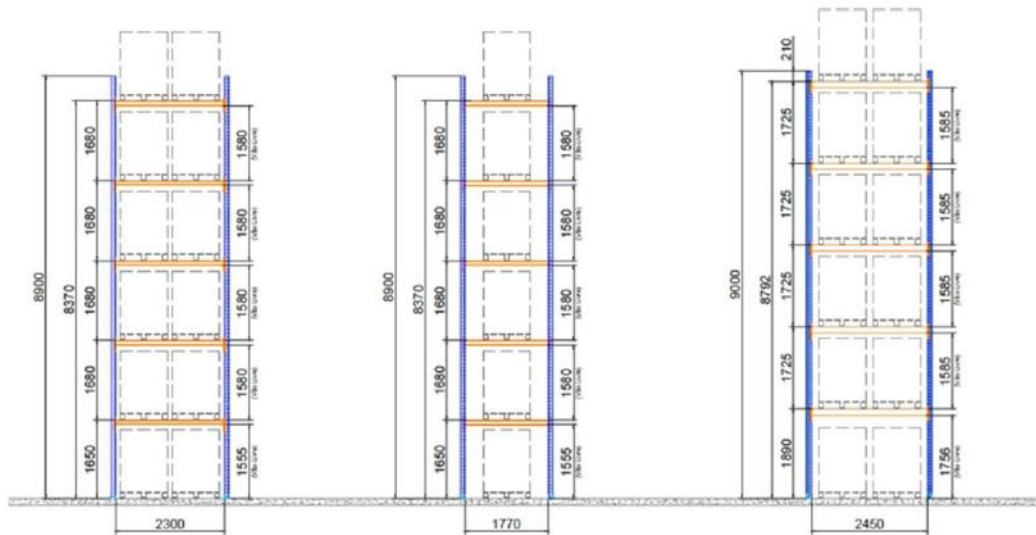
4 VERIFICAÇÃO E DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA:

A coleta de dados foi feita nos dias 07 e 08 de Janeiro de 2024, pelo Responsável Técnico Tiago Fanco, e acompanhada pelo Sr. Rafael [REDACTED]

4.1 Estrutura Analisada

Não há projeto dos fabricantes de referência. Porém pós inspeção foi desenvolvido o projeto da estrutura, O CD 01 dispõe de estruturas Porta Pallets sendo 14.682 Posições pallets e 45 planos para picking em 1.251 módulos de estruturas Porta Pallets, sendo 06 tipos de perfis estruturais diferentes.

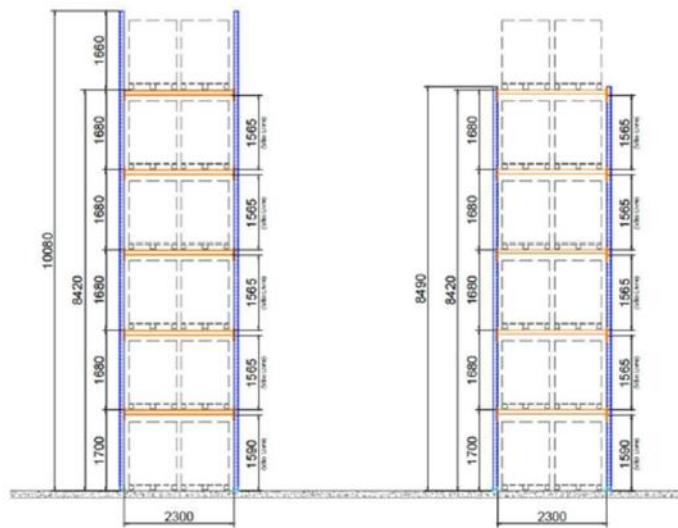




Vista Frontal
TIPO C
 Montante 03
 Escala 1:150

Vista Frontal
TIPO 1/2 C
 Montante 03
 Escala 1:150

Vista Frontal
TIPO D
 Montante 04
 Escala 1:150



Vista Frontal
TIPO E
 Montante 05
 Escala 1:150

Vista Frontal
TIPO F
 Montante 06
 Escala 1:150

Figura 01 - Condição atual, vistas de projeto configuração dos módulos e perfis estruturais

4.2 Operação

O centro de distribuição estava em plena operação e as estruturas estavam parcialmente abastecida.

4.3 Perfis Estruturais

A estrutura porta pallets está dividida em 06 tipos de perfis estruturais diferentes, todos de aço com acabamento em pintura eletrostática para os elementos de colunas e longarinas e travessas e diagonais em zar e pintura eletrostática. Sendo os perfis de acordo com cada fabricante:


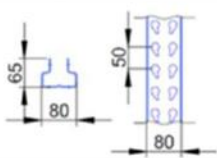
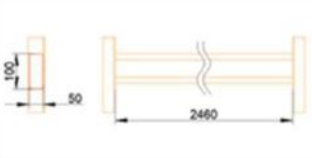

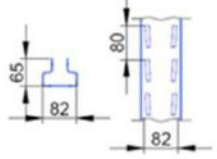
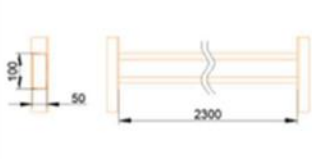

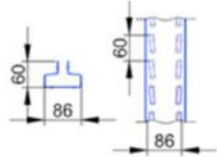
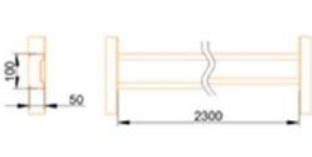

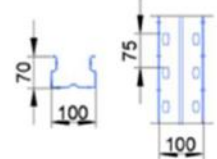
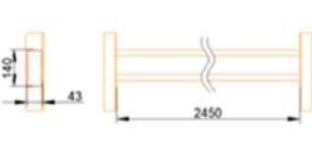

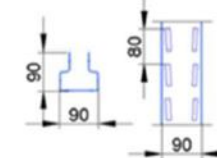
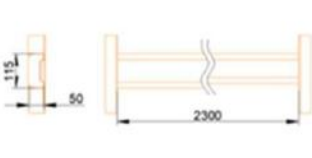

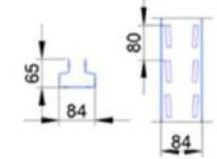
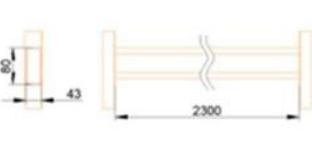
LOCALIZAÇÃO	IMAGEM COLUNA	PERFIL COLUNA	PERFIL LONGARINA
RUAS 01 A 11 TIPO A			
RUAS 12 A 17 L.E TIPO B			
RUAS 17 L.D A 25 L.E TIPO C			
RUAS 25 L.D A 36 L.E TIPO D			
RUAS 37 A 42 TIPO E			
RUAS 43 A 48 TIPO F			

Figura 02 - Perfis Estruturais

4.4 Método de Análise

Método aplicado de cálculo estrutural baseado nas propriedades geométricas dos perfis de aço formados a frio, considerando que todas as estruturas devem ser provenientes de aço estrutural (este laudo não é responsável pela composição das ligas metálicas do material) aplicando assim os parâmetros de aço estrutural. Cálculos realizados conforme requisitos e diretrizes das normas NBR 14762 e 17150. O material estimado para a estrutura foi aço de baixo carbono, com dados de Módulo de Elasticidade ($E = 205 \text{ GPa}$), Densidade ($\rho = 7870 \text{ kg/m}^3$) e coeficiente de Poisson ($\nu = 0,3$).

4.5 TIPO A – RUAS 01 A 11

Composto por perfis estruturais da coluna M80x65x10050mm e longarinas LC 100x2460 mm. Montantes contraventados por travessas e diagonais. DADOS PARA CALCULO TIPO A

Propriedades do Material - Aço Estrutural

E= 2050000,00 Kgf/cm ²	Módulo de elasticidade do Aço
S.esc= Kgf/cm ²	Limite de escoamento do Aço

INFORMAÇÕES DO MÓDULO DE ARMAZENAGEM

Perfil da Coluna - Propriedades Geométricas

Coluna Junção: Sim

Perfil Estrutural: M.80.180

Ar.=	3,76 cm ²	A=Área da secção
Ix Mom=	38,05 cm ⁴	Ix =Momento de inércia no eixo "X"
Rx Raio=	3,16 cm	Rx = Raio de Giração no eixo "X"
Iy Mom=	14,77 cm ⁴	Iy = Momento de inércia no eixo "Y"
Ry Raio=	1,97 cm	Ry = Raio de Giração no eixo "Y"

Perfil Estrutural: M.80.180

Ar.=	3,76 cm ²	A=Área da secção
Ix Mom=	38,05 cm ⁴	Ix =Momento de inércia no eixo "X"
Rx Raio=	3,16 cm	Rx = Raio de Giração no eixo "X"
Iy Mom=	14,77 cm ⁴	Iy = Momento de inércia no eixo "Y"
Ry Raio=	1,97 cm	Ry = Raio de Giração no eixo "Y"

Perfil da Longarina - Propriedades Geométricas

Perfil Estrutural: LGCX.043.100.120

3 Garras

Ar =	4,71 cm ²	Área da secção
Ix Mom=	71,04 cm ⁴	Momento de inércia no eixo "X"
Wx Mod=	14,45 cm ³	Módulo de resistência em "X"

Módulo de Armazenagem - Dados de configuração

Níveis	1+5	1 (Chão) + N (Qtd. Níveis de armazenagem)
Coef. C.m.p=	1,30	Ações permanentes - Coeficiente norma
Coef. C.m.t=	1,40	Unidades de Carga - Coeficiente norma
Carga adicional=	 Kgf	Carga adicional aplicada sob módulos

Nível Armaz.	Carga aplicada por nível	Altura Entre nível	Contraventam. Montantes
1º Nível	1800 Kgf/nível	165,00 cm	120,0 cm
2º Nível	1800 Kgf/nível	165,00 cm	120,0 cm
3º Nível	1800 Kgf/nível	165,00 cm	120,0 cm
4º Nível	1800 Kgf/nível	165,00 cm	120,0 cm
5º Nível	1800 Kgf/nível	165,00 cm	120,0 cm

Carga aplicada **9000 Kgf** Carga aplicada sobre o montante

1.D.e.m=	246,00 cm	Distância entre colunas - Longarina
2.Q.m=	10 adm	Nº de montantes em sequência
3.L.m=	100,00 cm	Profundidade do montante
4.A.u.n=	825,00 cm	Distância do piso até ultima longarina
5.Q.c=	2 adm	Nº Chumbadores
6.Kx=	1,25 adm	Fator da norma de fixação
7.Ky=	1,25 adm	Fator da norma de fixação

RESULTADOS DOS CALCULOS**Análises do Montante - Módulo de Armazenagem****Análises das resulttes no Eixo X**

Aprovado esbeltez do perfil < 200.
Aprovado para todas as cargas.

Coluna	Nível	Distanc.	Ver.i	l	r	V.N _{c,Rd}	V.N _{c,Sd}	%Aprov.
M.80.180	1º Nível	165	65,26	0,728	0,768	9566,61	9158,38	0,957
M.80.180	2º Nível	165	52,21	0,582	0,846	10540,6	7358,38	0,698
M.80.180	3º Nível	165	52,21	0,582	0,846	10540,5	5558,38	0,527
M.80.180	4º Nível	165	52,21	0,582	0,846	10540,5	3758,38	0,357
M.80.180	5º Nível	165	52,21	0,582	0,846	10540,4	1958,38	0,186

Análises das resultantes no Eixo Y

Aprovado esbeltez do perfil < 200.
Aprovado para todas as cargas.

Coluna	Nível	Distanc.	Ver.i	l	r	V.N _{c,Rd}	V.N _{c,Sd}	%Aprov.
M.80.180	1º Nível	7,5	76,18	0,053	1,053	13120,1	9158,38	0,698
M.80.180	1º Nível	120	60,94	0,680	0,795	9906,35	9158,38	0,924
M.80.180	2º Nível	120	60,94	0,680	0,795	9906,16	7358,38	0,743
M.80.180	3º Nível	120	60,94	0,680	0,795	9905,86	5558,38	0,561
M.80.180	4º Nível	120	60,94	0,680	0,795	9905,26	3758,38	0,379
M.80.180	5º Nível	120	60,94	0,680	0,795	9903,56	1958,38	0,198

Análises da Longarina - Módulo de Armazenagem**Análise da Flexão da Longarina (Flecha - L/200)**

1.F.cal= L/205 **Aprovado**

Análise da Resistência ao Cisalhamento da Longarina

2.T.cal= 189,03 Kgf/cm² F Cortante máxima calculada

3.T.cal / S.esc= 0,08 < 1,02 Aprovado

Análise da Tensão de Flexão da Longarina

5.S.cal= 2848,94 Kgf/cm² Flexão máxima calculada

6.S.cal / S.esc= 0,97 < 1,02 Aprovado

Resultante de cargas máximas aplicadas

A carga máxima recomendada para cada par de longarinas deste porta-paleta é de **1.800 kg**, sendo cada paleta PBR de **900 kg**, baseado nos calculos acima demonstradas, onde o porta-paleta opera com uma segurança e tensão limite considerada do aço de baixo carbono, de 170 MPa.

4.6 TIPO B – RUAS 12 A 17 L.E

Composto por perfis estruturais da coluna M82x60x10180mm e longarinas LC 100x2300 / 1770 mm. Montantes contraventados por travessas e diagonais.

DADOS PARA CALCULO TIPO B

Propriedades do Material - Aço Estrutural

E= 2050000,00 Kgf/cm² Módulo de elasticidade do Aço
S.esc= Kgf/cm² Limite de escoamento do Aço

INFORMAÇÕES DO MÓDULO DE ARMAZENAGEM

Perfil da Coluna - Propriedades Geométricas

Coluna Junção: Não

Perfil Estrutural: M.82.180

Ar =	4,18 cm ²	A=Área da secção
Ix Mom=	41,48 cm ⁴	Ix =Momento de inércia no eixo "X"
Rx Raio=	3,14 cm	Rx = Raio de Giração no eixo "X"
Iy Mom=	15,77 cm ⁴	Iy = Momento de inércia no eixo "Y"
Ry Raio=	1,94 cm	Ry = Raio de Giração no eixo "Y"

Perfil da Longarina - Propriedades Geométricas

Perfil Estrutural: LGCX.043.100.120

3 Garras

Ar =	4,71 cm ²	Área da secção
Ix Mom=	71,04 cm ⁴	Momento de inércia no eixo "X"
Wx Mod=	14,45 cm ³	Módulo de resistência em "X"

Módulo de Armazenagem - Dados de configuração

Níveis 1+5 1 (Chão) + N (Qtd. Níveis de armazenagem)

Coef. C.m.p= 1,30 Ações permanentes - Coeficiente norma
Coef. C.m.t= 1,40 Unidades de Carga - Coeficiente norma

Carga adicional= Kgf Carga adicional aplicada sob módulos

Nível Armaz.	Carga aplicada por nível	Altura Entre nível	Contraventam. Montantes
1º Nível	2000 Kgf/nível	163,00 cm	60,0 cm
2º Nível	2000 Kgf/nível	168,00 cm	120,0 cm
3º Nível	2000 Kgf/nível	168,00 cm	120,0 cm
4º Nível	2000 Kgf/nível	168,00 cm	120,0 cm
5º Nível	2000 Kgf/nível	168,00 cm	120,0 cm

Carga aplicada	10000 Kgf	Carga aplicada sobre o montante
1.D.e.m=	230,00 cm	Distância entre colunas - Longarina
2.Q.m=	10 adm	Nº de montantes em sequência
3.L.m=	100,00 cm	Profundidade do montante
4.A.u.n=	835,00 cm	Distância do piso até ultima longarina
5.Q.c=	2 adm	Nº Chumbadores
6.Kx=	1,25 adm	Fator da norma de fixação
7.Ky=	1,25 adm	Fator da norma de fixação

RESULTADOS DOS CALCULOS

Análises do Montante - Módulo de Armazenagem

Análises das resulttes no Eixo X

Aprovado esbeltez do perfil < 200.
Aprovado para todas as cargas.

Coluna	Nível	Distanc.	Ver.i	l	r	V.N _{c,Rd}	V.N _{c,Sd}	%Aprov.
M.82.180	1º Nível	163	64,86	0,726	0,769	10645,6	10159,1	0,954
M.82.180	2º Nível	168	53,48	0,599	0,838	11600,4	8159,08	0,703
M.82.180	3º Nível	168	53,48	0,599	0,838	11600,3	6159,08	0,531
M.82.180	4º Nível	168	53,48	0,599	0,838	11600,3	4159,08	0,359
M.82.180	5º Nível	168	53,48	0,599	0,838	11600,1	2159,08	0,186

Análises das resultantes no Eixo Y

Aprovado esbeltez do perfil < 200.
Aprovado para todas as cargas.

Coluna	Nível	Distanc.	Ver.i	l	r	V.N _{c,Rd}	V.N _{c,Sd}	%Aprov.
M.82.180	1º Nível	7,5	38,72	0,054	1,052	14572,5	10159,1	0,697
M.82.180	1º Nível	60	30,98	0,347	0,947	13108,5	10159,1	0,775
M.82.180	2º Nível	120	61,95	0,694	0,787	10901,6	8159,08	0,748
M.82.180	3º Nível	120	61,95	0,694	0,787	10901,2	6159,08	0,565
M.82.180	4º Nível	120	61,95	0,694	0,787	10900,5	4159,08	0,382
M.82.180	5º Nível	120	61,95	0,694	0,787	10898,6	2159,08	0,198

Análises da Longarina - Módulo de Armazenagem

Análise da Flexão da Longarina (Flecha - L/200)

1.F.cal= L/211 **Aprovado**

Análise da Resistência ao Cisalhamento da Longarina

2.T.cal= 210,03 Kgf/cm² F Cortante máxima calculada

3.T.cal / S.esc= 0,09 < 1,02 **Aprovado**

Análise da Tensão de Flexão da Longarina

5.S.cal= 2955,24 Kgf/cm² Flexão máxima calculada

6.S.cal / S.esc= 1,01 < 1,02 **Aprovado**

Resultante de cargas máximas aplicadas

A carga máxima recomendada para cada par de longarinas deste porta-palete é de **2.000 kg**, sendo cada palete PBR de **1.000 kg**, baseado nos calculos acima demonstradas, onde o porta-palete opera com uma segurança e tensão limite considerada do aço de baixo carbono, de 170 MPa.

4.7 TIPO C – RUAS 17 L.D A 25 L.E

Composto por perfis estruturais da coluna M86x60x8.900mm e longarinas LZ 100x2300/1770 mm. Montantes contraventados por travessas e diagonais.

DADOS PARA CALCULO TIPO C

Propriedades do Material - Aço Estrutural

E= 2050000,00 Kgf/cm² Módulo de elasticidade do Aço
S.esc= Kgf/cm² Limite de escoamento do Aço

INFORMAÇÕES DO MÓDULO DE ARMAZENAGEM

Perfil da Coluna - Propriedades Geométricas

Coluna Junção: Não

Perfil Estrutural: M.86.180

Ar =	4,18 cm ²	A=Área da secção
Ix Mom=	41,48 cm ⁴	Ix =Momento de inércia no eixo "X"
Rx Raio=	3,14 cm	Rx = Raio de Giração no eixo "X"
Iy Mom=	15,77 cm ⁴	Iy = Momento de inércia no eixo "Y"
Ry Raio=	1,94 cm	Ry = Raio de Giração no eixo "Y"

Perfil da Longarina - Propriedades Geométricas

Perfil Estrutural: LGSG.050.100.120

3 Garras

Ar =	3,75 cm ²	Área da secção
Ix Mom=	53,20 cm ⁴	Momento de inércia no eixo "X"
Wx Mod=	10,64 cm ³	Módulo de resistência em "X"

Módulo de Armazenagem - Dados de configuração

Níveis 1+5 1 (Chão) + N (Qtd. Níveis de armazenagem)

Coef. C.m.p= 1,30 Ações permanentes - Coeficiente norma
Coef. C.m.t= 1,40 Unidades de Carga - Coeficiente norma

Carga adicional= Kgf Carga adicional aplicada sob módulos

Nível Armaz.	Carga aplicada por nível	Altura Entre nível	Contraventam. Montantes
1º Nível	1200 Kgf/nível	165,00 cm	120,0 cm
2º Nível	1200 Kgf/nível	168,00 cm	120,0 cm
3º Nível	1200 Kgf/nível	168,00 cm	120,0 cm
4º Nível	1200 Kgf/nível	168,00 cm	120,0 cm
5º Nível	1200 Kgf/nível	168,00 cm	120,0 cm

Carga aplicada 6000 Kgf Carga aplicada sobre o montante

1.D.e.m=	230,00 cm	Distância entre colunas - Longarina
2.Q.m=	10 adm	Nº de montantes em sequência
3.L.m=	100,00 cm	Profundidade do montante
4.A.u.n=	837,00 cm	Distância do piso até ultima longarina
5.Q.c=	2 adm	Nº Chumbadores
6.Kx=	1,25 adm	Fator da norma de fixação
7.Ky=	1,25 adm	Fator da norma de fixação

RESULTADOS DOS CALCULOS

Análises do Montante - Módulo de Armazenagem

Análises das resulttes no Eixo X

Aprovado esbeltez do perfil < 200.
Aprovado para todas as cargas.

Coluna	Nível	Distanc.	Ver.i	l	r	V.N _{c,Rd}	V.N _{c,Sd}	%Aprov.
M.86.180	1º Nível	165	65,65	0,735	0,764	10576,1	6159,1	0,582
M.86.180	2º Nível	168	53,48	0,599	0,838	11603	4959,1	0,427
M.86.180	3º Nível	168	53,48	0,599	0,838	11602,9	3759,1	0,324
M.86.180	4º Nível	168	53,48	0,599	0,838	11602,8	2559,1	0,221
M.86.180	5º Nível	168	53,48	0,599	0,838	11602,4	1359,1	0,117

Análises das resultantes no Eixo Y

Aprovado esbeltez do perfil < 200.
Aprovado para todas as cargas.

Coluna	Nível	Distanc.	Ver.i	l	r	V.N _{c,Rd}	V.N _{c,Sd}	%Aprov.
M.86.180	1º Nível	7,5	77,44	0,054	1,052	14575,8	6159,1	0,423
M.86.180	1º Nível	120	61,95	0,694	0,787	10903,8	6159,1	0,565
M.86.180	2º Nível	120	61,95	0,694	0,787	10903,4	4959,1	0,455
M.86.180	3º Nível	120	61,95	0,694	0,787	10902,9	3759,1	0,345
M.86.180	4º Nível	120	61,95	0,694	0,787	10901,7	2559,1	0,235
M.86.180	5º Nível	120	61,95	0,694	0,787	10898,6	1359,1	0,125

Análises da Longarina - Módulo de Armazenagem

Análise da Flexão da Longarina (Flecha - L/200)

1.F.cal= L/264 **Aprovado**

Análise da Resistência ao Cisalhamento da Longarina

2.T.cal= 158,59 Kgf/cm² F Cortante máxima calculada

3.T.cal / S.esc= 0,07 < 1,02 **Aprovado**

Análise da Tensão de Flexão da Longarina

5.S.cal= 2414,20 Kgf/cm² Flexão máxima calculada

6.S.cal / S.esc= 0,82 < 1,02 **Aprovado**

Resultante de cargas máximas aplicadas

A carga máxima recomendada para cada par de longarinas deste porta-paleta é de **1.200 kg**, sendo cada paleta PBR de **600 kg**, baseado nos calculos acima demonstradas, onde o porta-paleta opera com uma segurança e tensão limite considerada do aço de baixo carbono, de 170 MPa.

4.8 TIPO D – RUAS 26 L.D A 36 L.E

Composto por perfis estruturais da coluna Ms100x70x9000 mm e longarinas LC 140x2450 mm. Montantes contraventados por travessas e diagonais.

DADOS PARA CALCULO TIPO D

Propriedades do Material - Aço Estrutural

E= 2050000,00 Kgf/cm² Módulo de elasticidade do Aço
S.esc= Kgf/cm² Limite de escoamento do Aço

INFORMAÇÕES DO MÓDULO DE ARMAZENAGEM

Perfil da Coluna - Propriedades Geométricas

Coluna Junção: Não

Perfil Estrutural: MS.100.200

Ar =	6,00 cm ²	A=Área da secção
Ix Mom=	101,26 cm ⁴	Ix =Momento de inércia no eixo "X"
Rx Raio=	4,04 cm	Rx = Raio de Giro no eixo "X"
Iy Mom=	61,77 cm ⁴	Iy = Momento de inércia no eixo "Y"
Ry Raio=	3,15 cm	Ry = Raio de Giro no eixo "Y"

Perfil da Longarina - Propriedades Geométricas

Perfil Estrutural: LGCX.043.140.120

4 Garras

Ar =	6,14 cm ²	Área da secção
Ix Mom=	190,96 cm ⁴	Momento de inércia no eixo "X"
Wx Mod=	25,46 cm ³	Módulo de resistência em "X"

Módulo de Armazenagem - Dados de configuração

Níveis	1+5	1 (Chão) + N (Qtd. Níveis de armazenagem)
Coef. C.m.p=	1,30	Ações permanentes - Coeficiente norma
Coef. C.m.t=	1,40	Unidades de Carga - Coeficiente norma
Carga adicional=	 Kgf	Carga adicional aplicada sob módulos

Nível Armaz.	Carga aplicada por nível	Altura Entre nível	Contraventam. Montantes
1º Nível	3000 Kgf/nível	189,00 cm	120,0 cm
2º Nível	3000 Kgf/nível	172,50 cm	120,0 cm
3º Nível	3000 Kgf/nível	172,50 cm	120,0 cm
4º Nível	3000 Kgf/nível	172,50 cm	120,0 cm
5º Nível	3000 Kgf/nível	172,50 cm	120,0 cm

Carga aplicada **15000 Kgf** Carga aplicada sobre o montante

1.D.e.m=	245,00 cm	Distância entre colunas - Longarina
2.Q.m=	10 adm	Nº de montantes em sequência
3.L.m=	100,00 cm	Profundidade do montante
4.A.u.n=	879,00 cm	Distância do piso até ultima longarina
5.Q.c=	2 adm	Nº Chumbadores
6.Kx=	1,25 adm	Fator da norma de fixação
7.Ky=	1,25 adm	Fator da norma de fixação

RESULTADOS DOS CALCULOS**Análises do Montante - Módulo de Armazenagem****Análises das resulttes no Eixo X**

Aprovado esbeltez do perfil < 200.
Aprovado para todas as cargas.

Coluna	Nível	Distanc.	Ver.i	l	r	V.N _{e,Rd}	V.N _{e,Sd}	%Aprov.
MS.100.200	1º Nível	189	58,51	0,646	0,814	16170,3	15159	0,937
MS.100.200	2º Nível	172,5	42,72	0,471	0,897	17823,2	12159	0,682
MS.100.200	3º Nível	172,5	42,72	0,471	0,897	17823,2	9158,97	0,514
MS.100.200	4º Nível	172,5	42,72	0,471	0,897	17823,1	6158,97	0,346
MS.100.200	5º Nível	172,5	42,72	0,471	0,897	17822,9	3158,97	0,177

Análises das resultantes no Eixo Y

Aprovado esbeltez do perfil < 200.
Aprovado para todas as cargas.

Coluna	Nível	Distanc.	Ver.i	l	r	V.N _{e,Rd}	V.N _{e,Sd}	%Aprov.
MS.100.200	1º Nível	7,5	47,57	0,033	1,060	21076,8	15159	0,719
MS.100.200	1º Nível	120	38,05	0,420	0,918	18248,1	15159	0,831
MS.100.200	2º Nível	120	38,05	0,420	0,918	18247,8	12159	0,666
MS.100.200	3º Nível	120	38,05	0,420	0,918	18247,2	9158,97	0,502
MS.100.200	4º Nível	120	38,05	0,420	0,918	18246,1	6158,97	0,338
MS.100.200	5º Nível	120	38,05	0,420	0,918	18242,9	3158,97	0,173

Análises da Longarina - Módulo de Armazenagem

Análise da Flexão da Longarina (Flecha - L/200)

1.F.cal= L/334 **Aprovado**

Análise da Resistência ao Cisalhamento da Longarina

2.T.cal= 241,84 Kgf/cm² F Cortante máxima calculada

3.T.cal / S.esc= 0,10 < 1,02 **Aprovado**

Análise da Tensão de Flexão da Longarina

5.S.cal= 2678,27 Kgf/cm² Flexão máxima calculada

6.S.cal / S.esc= 0,91 < 1,02 **Aprovado**

Resultante de cargas máximas aplicadas

A carga máxima recomendada para cada par de longarinas deste porta-paleta é de **3.000 kg**, sendo cada paleta PBR de **1.500 kg**, baseado nos calculos acima demonstradas, onde o porta-paleta opera com uma segurança e tensão limite considerada do aço de baixo carbono, de 170 MPa.

4.9 TIPO E – RUAS 37 A 42

Composto por perfis estruturais da coluna M90x90x10080mm e longarinas LZ 115x2300 mm. Montantes contraventados por travessas e diagonais.

DADOS PARA CALCULO TIPO E

Propriedades do Material - Aço Estrutural

E= 2050000,00 Kgf/cm² Módulo de elasticidade do Aço
S.esc= Kgf/cm² Limite de escoamento do Aço

INFORMAÇÕES DO MÓDULO DE ARMAZENAGEM

Perfil da Coluna - Propriedades Geométricas

Coluna Junção: Não

Perfil Estrutural: M.90.180

Ar=	3,94 cm ²	A=Área da secção
Ix Mom=	50,00 cm ⁴	Ix =Momento de inércia no eixo "X"
Rx Raio=	3,54 cm	Rx = Raio de Giração no eixo "X"
Iy Mom=	15,27 cm ⁴	Iy = Momento de inércia no eixo "Y"
Ry Raio=	1,96 cm	Ry = Raio de Giração no eixo "Y"

Perfil da Longarina - Propriedades Geométricas

Perfil Estrutural: LGSG.050.115.120 3 Garras

Ar =	3,75 cm ²	Área da secção
Ix Mom=	68,30 cm ⁴	Momento de inércia no eixo "X"
Wx Mod=	13,10 cm ³	Módulo de resistência em "X"

Módulo de Armazenagem - Dados de configuração

Níveis	1+5	1 (Chão) + N (Qtd. Níveis de armazenagem)
Coef. C.m.p=	1,30	Ações permanentes - Coeficiente norma
Coef. C.m.t=	1,40	Unidades de Carga - Coeficiente norma
Carga adicional=	 Kgf	Carga adicional aplicada sob módulos

Nível Armaz.	Carga aplicada por nível	Altura Entre nível	Contraventam. Montantes
1º Nível	1800 Kgf/nível	170,00 cm	120,0 cm
2º Nível	1800 Kgf/nível	168,00 cm	120,0 cm
3º Nível	1800 Kgf/nível	168,00 cm	120,0 cm
4º Nível	1800 Kgf/nível	168,00 cm	120,0 cm
5º Nível	1800 Kgf/nível	168,00 cm	120,0 cm

Carga aplicada **9000 Kgf** Carga aplicada sobre o montante

1.D.e.m=	230,00 cm	Distância entre colunas - Longarina
2.Q.m=	10 adm	Nº de montantes em sequência
3.L.m=	100,00 cm	Profundidade do montante
4.A.u.n=	842,00 cm	Distância do piso até ultima longarina
5.Q.c=	2 adm	Nº Chumbadores
6.Kx=	1,25 adm	Fator da norma de fixação
7.Ky=	1,25 adm	Fator da norma de fixação

RESULTADOS DOS CALCULOS

Análises do Montante - Módulo de Armazenagem

Análises das resulttes no Eixo X

Aprovado esbeltez do perfil < 200.
Aprovado para todas as cargas.

Coluna	Nível	Distanc.	Ver.i	l	r	V.N _{c,Rd}	V.N _{c,Sd}	%Aprov.
M.90.180	1º Nível	170	60,02	0,670	0,800	10453,6	9159,15	0,876
M.90.180	2º Nível	168	47,45	0,530	0,871	11373,2	7359,15	0,647
M.90.180	3º Nível	168	47,45	0,530	0,871	11373,2	5559,15	0,489
M.90.180	4º Nível	168	47,45	0,530	0,871	11373,1	3759,15	0,331
M.90.180	5º Nível	168	47,45	0,530	0,871	11372,9	1959,15	0,172

Análises das resultantes no Eixo Y

Aprovado esbeltez do perfil < 200.
Aprovado para todas as cargas.

Coluna	Nível	Distanc.	Ver.i	l	r	V.N _{c,Rd}	V.N _{c,Sd}	%Aprov.
M.90.180	1º Nível	7,5	76,66	0,053	1,053	13746,5	9159,15	0,666
M.90.180	1º Nível	120	61,33	0,684	0,792	10348,1	9159,15	0,885
M.90.180	2º Nível	120	61,33	0,684	0,792	10347,9	7359,15	0,711
M.90.180	3º Nível	120	61,33	0,684	0,792	10347,6	5559,15	0,537
M.90.180	4º Nível	120	61,33	0,684	0,792	10346,9	3759,15	0,363
M.90.180	5º Nível	120	61,33	0,684	0,792	10345	1959,15	0,189

Análises da Longarina - Módulo de Armazenagem

Análise da Flexão da Longarina (Flecha - L/200)

1.F.cal= L/226 **Aprovado**

Análise da Resistência ao Cisalhamento da Longarina

2.T.cal= 237,89 Kgf/cm² F Cortante máxima calculada

3.T.cal / S.esc= 0,10 < 1,02 **Aprovado**

Análise da Tensão de Flexão da Longarina

5.S.cal= 2931,12 Kgf/cm² Flexão máxima calculada

6.S.cal / S.esc= 1,00 < 1,02 **Aprovado**

Resultante de cargas máximas aplicadas

A carga máxima recomendada para cada par de longarinas deste porta-paleta é de **1.800 kg**, sendo cada paleta PBR de **900 kg**, baseado nos cálculos acima demonstradas, onde o porta-paleta opera com uma segurança e tensão limite considerada do aço de baixo carbono, de 170 MPa.

4.10 TIPO F – RUAS 43 A 48

Composto por perfis estruturais da coluna M84x65x10.050mm e longarinas LC 80x2300 mm. Montantes contraventados por travessas e diagonais.

DADOS PARA CALCULO TIPO F

Propriedades do Material - Aço Estrutural

E= 2050000,00 Kgf/cm² Módulo de elasticidade do Aço
S.esc= Kgf/cm² Limite de escoamento do Aço

INFORMAÇÕES DO MÓDULO DE ARMAZENAGEM

Perfil da Coluna - Propriedades Geométricas

Coluna Junção: Não

Perfil Estrutural: M.84.180

Ar =	4,18 cm ²	A=Área da secção
Ix Mom=	41,48 cm ⁴	Ix =Momento de inércia no eixo "X"
Rx Raio=	3,14 cm	Rx = Raio de Giração no eixo "X"
Iy Mom=	15,77 cm ⁴	Iy = Momento de inércia no eixo "Y"
Ry Raio=	1,94 cm	Ry = Raio de Giração no eixo "Y"

Perfil da Longarina - Propriedades Geométricas

Perfil Estrutural: LGCX.043.80.120

3 Garras

Ar =	4,23 cm ²	Área da secção
Ix Mom=	44,30 cm ⁴	Momento de inércia no eixo "X"
Wx Mod=	11,20 cm ³	Módulo de resistência em "X"

Módulo de Armazenagem - Dados de configuração

Níveis 1+5 1 (Chão) + N (Qtd. Níveis de armazenagem)

Coef. C.m.p= 1,30 Ações permanentes - Coeficiente norma

Coef. C.m.t= 1,40 Unidades de Carga - Coeficiente norma

Carga adicional= Kgf Carga adicional aplicada sob módulos

Nível Armaz.	Carga aplicada por nível	Altura Entre nível	Contraventam. Montantes
1º Nível	1300 Kgf/nível	170,00 cm	120,0 cm
2º Nível	1300 Kgf/nível	168,00 cm	120,0 cm
3º Nível	1300 Kgf/nível	168,00 cm	120,0 cm

4° Nível	1300 Kgf/nível	168,00 cm	120,0 cm
5° Nível	1300 Kgf/nível	168,00 cm	120,0 cm

Carga aplicada **6500 Kgf** Carga aplicada sobre o montante

1.D.e.m= 230,00 cm Distância entre colunas - Longarina
 2.Q.m= 10 adm Nº de montantes em sequência

3.L.m= 100,00 cm Profundidade do montante
 4.A.u.n= 842,00 cm Distância do piso até ultima longarina

5.Q.c= 2 adm Nº Chumbadores
 6.Kx= 1,25 adm Fator da norma de fixação
 7.Ky= 1,25 adm Fator da norma de fixação

RESULTADOS DOS CALCULOS

Análises do Montante - Módulo de Armazenagem

Análises das resulttes no Eixo X

Aprovado esbeltez do perfil < 200.
 Aprovado para todas as cargas.

Coluna	Nível	Distanc.	Ver.i	l	r	V.N _{c,Rd}	V.N _{c,Sd}	%Aprov.
M.84.180	1° Nível	170	67,64	0,757	0,750	10393,3	6659,15	0,641
M.84.180	2° Nível	168	53,48	0,599	0,838	11602,5	5359,15	0,462
M.84.180	3° Nível	168	53,48	0,599	0,838	11602,4	4059,15	0,350
M.84.180	4° Nível	168	53,48	0,599	0,838	11602,3	2759,15	0,238
M.84.180	5° Nível	168	53,48	0,599	0,838	11602	1459,15	0,126

Análises das resultantes no Eixo Y

Aprovado esbeltez do perfil < 200.
 Aprovado para todas as cargas.

Coluna	Nível	Distanc.	Ver.i	l	r	V.N _{c,Rd}	V.N _{c,Sd}	%Aprov.
M.84.180	1° Nível	7,5	77,44	0,054	1,052	14575,2	6659,15	0,457
M.84.180	1° Nível	120	61,95	0,694	0,787	10903,4	6659,15	0,611
M.84.180	2° Nível	120	61,95	0,694	0,787	10903,1	5359,15	0,492
M.84.180	3° Nível	120	61,95	0,694	0,787	10902,5	4059,15	0,372
M.84.180	4° Nível	120	61,95	0,694	0,787	10901,5	2759,15	0,253
M.84.180	5° Nível	120	61,95	0,694	0,787	10898,6	1459,15	0,134

Análises da Longarina - Módulo de Armazenagem

Análise da Flexão da Longarina (Flecha - L/200)

1.F.cal= L/203 **Aprovado**

Análise da Resistência ao Cisalhamento da Longarina

2.T.cal= 152,15 Kgf/cm² F Cortante máxima calculada

3.T.cal / S.esc= 0,07 < 1,02 **Aprovado**

Análise da Tensão de Flexão da Longarina

5.S.cal= 2485,70 Kgf/cm² Flexão máxima calculada

6.S.cal / S.esc= 0,85 < 1,02 **Aprovado**

Resultante de cargas máximas aplicadas

A carga máxima recomendada para cada par de longarinas deste porta-paleta é de **1.300 kg**, sendo cada paleta PBR de **650 kg**, baseado nos calculos acima demonstradas, onde o porta-paleta opera com uma segurança e tensão limite considerada do aço de baixo carbono, de 170 MPa.

5 CONCLUSÃO

Com base na coleta e análise dos dados, conclui-se que a estrutura de armazenagem esta apta para operação, seguindo as capacidade máximas de armazenagem:

TIPO	LOCALIZAÇÃO	CARGA MÁX / PALLET	CARGA MÁX / PLANO
TIPO A	R 01 A 11	900 Kg	1800 Kg
TIPO B	R 12 A 17 L.E	1000 Kg	2000 Kg
TIPO C	R 17 L.D A 25 L.E	600 Kg	1200 Kg
TIPO D	R 25 L.D A 36 L.E	1500 Kg	3000 Kg
TIPO E	R 37 A 42	900 Kg	1800 Kg
TIPO F	R 43 A 48	650 Kg	1300 Kg

Diante do exposto e conforme análise seguem orientações de ações possíveis:

- Alocação das cargas de acordo com as capacidades das estruturas dimensionadas;
- Placas de identificação na extremidade de todas as ruas para auxílio a operação;
- É recomendado realizar a inspeção técnica das estruturas anualmente, conforme NBR 17150, para evitar danos graves a estrutura que podem causar acidentes e queda das estruturas;

Responsável Técnico:

Tiago Franco
 CREA 5071290647

**ANEXO B – LAUDO DE CAPACIDADE DE CARGA – ESTUDO DE CASO
GALPÃO LOGÍSTICO B**

SETORLOG
Projetos Logísticos

LAUDO DE ANÁLISE

R.A 019.25 - REV. A
DATA: 27/08/2025

**RELATÓRIO ANÁLISE
DE SISTEMA DE ARMAZENAGEM**

Rodovia [REDACTED], Km 50 [REDACTED], Guaramirim – SC
PORTA PALLETS - TRANSELEVADOR

Responsável Técnico: Tiago Franco	Data: 12/07/2025	Revisão: 00
--------------------------------------	---------------------	----------------

Sumário

1	NORMAS TÉCNICAS APLICADAS	3
2	OBJETIVO	3
3	ESCOPO DE ATUAÇÃO:	3
4	DADOS TECNICOS OBTIDOS PARA ELABORAÇÃO DA ANÁLISE:	3
4.1	Propriedades Geométricas do Perfil da Coluna	4
4.2	Propriedades Geométricas do Perfil da Longarina	4
4.3	Propriedades Geométricas do Perfil Diagonal/Travessa	5
4.4	Propriedades Mecânicas do Perfil Coluna	6
4.5	Propriedades Mecânicas do Perfil Longarina	6
4.6	Carregamentos de Projetos	6
4.7	Carregamentos do Equipamento Transelevador	7
4.8	Dimensionais da Estrutura	7
4.9	Software Utilizado	7
5	DIMENSIONAMENTO	7
6	CONCLUSÃO	14

1 NORMAS TÉCNICAS APLICADAS

NBR 17150-1 - Sistemas de armazenagem. Parte1: Requisitos para projeto estrutural

NBR 17150-2 - Sistemas de armazenagem. Parte2: Tolerâncias, deformações e folgas para projetos

NBR 14762 – Dimensionamento de estruturas de aço constituída por perfil formados a frio-Procedimentos;

FEM 9.831/10.3.01 - Basis of calculations for storage and retrieval machines - Tolerances, deformations and clearances in the storage system.

2 OBJETIVO

Essa memória de cálculo tem como objetivo analisar a estrutura metálica tipo porta palete, do fabricante [REDACTED], fornecida para o cliente [REDACTED] no ano de 2008, cidade de Guaramirim–SC. O propósito deste trabalho é verificar conforme normas vigentes se a estrutura porta palete atual está apta a operar com o equipamento tipo transelevador, do fabricante [REDACTED].

3 ESCOPO DE ATUAÇÃO:

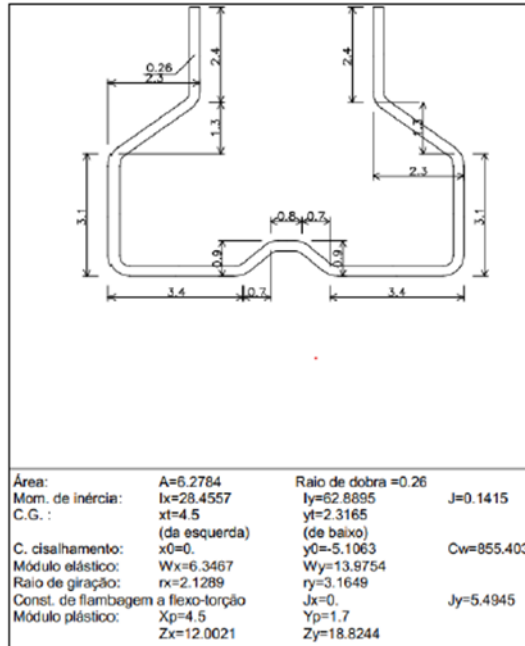
A análise consiste em adquirir todas as informações possíveis como databook, análises de campo, ensaios mecânicos, dados técnicos do transelevador, etc. Com isso, analisar todo esse conjunto de fatores e validar ou não, a utilização do transelevador na estrutura porta palete em questão.

No próximo tópico, será abordado todos os dados técnicos obtidos nesta análise.

4 DADOS TECNICOS OBTIDOS PARA ELABORAÇÃO DA ANÁLISE:

A seguir, será apresentado as propriedades geométricas dos principais elementos estruturais como colunas, longarinas e diagonais, perfis de contraventamento, e amarração superior.

4.1 Propriedades Geométricas do Perfil da Coluna

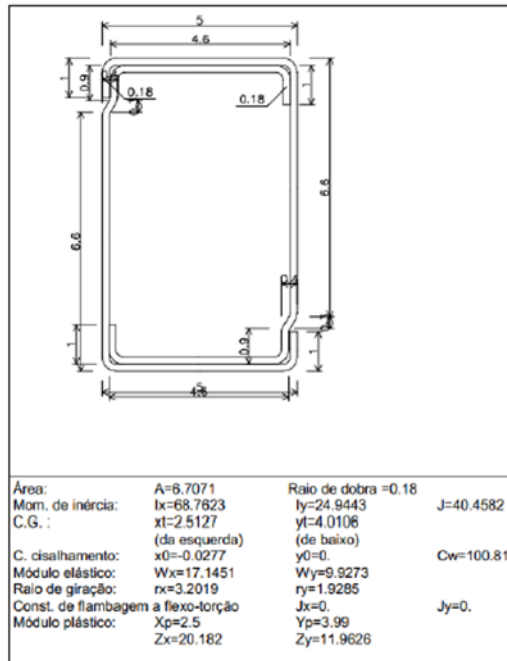


Sendo as principais propriedades geométricas:

- A - área da seção em cm²;
- I_x - momento de inércia da seção no eixo horizontal "X" em cm⁴;
- I_y - momento de inércia da seção no eixo vertical "Y" em cm⁴;
- r_x - raio de giração eixo horizontal "X" em cm;
- r_y - raio de giração no eixo vertical "Y" em cm;
- C_w - constante de empenamento da seção transversal;
- J - Constante de torção

4.2 Propriedades Geométricas do Perfil da Longarina

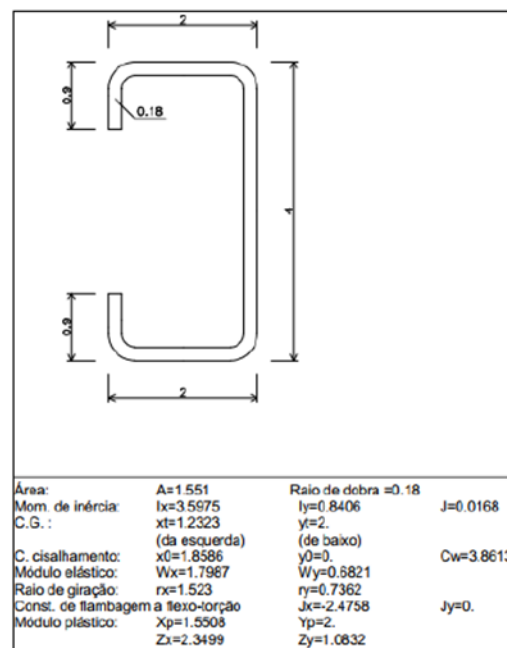
Conforme projeto, esse perfil de longarina é utilizado para os vãos de 2500mm e 2900mm, bi apoiados. Para o vão em balanço, é utilizado o valor de 1270mm. Para o dimensionamento de forma isolada deste perfil, como não se tem informações do fabricante da estrutura sobre a rigidez rotacional da longarina, foi adotado de forma conservadora os apoios livres de rigidez rotacional.



Sendo as principais propriedades geométricas:

- A - área da seção em cm^2 ;
- Ix - momento de inércia da seção no eixo horizontal "X" em cm^4 ;
- Iy - momento de inércia da seção no eixo vertical "Y" em cm^4 ;
- rx - raio de giração eixo horizontal "X" em cm;
- ry- raio de giração no eixo vertical "Y" em cm;
- Cw - constante de empenamento da seção transversal;
- J - Constante de torção

4.3 Propriedades Geométricas do Perfil Diagonal/Travessa



Sendo as principais propriedades geométricas:

- A - área da seção em cm^2 ;
- I_x - momento de inércia da seção no eixo horizontal "X" em cm^4 ;
- I_y - momento de inércia da seção no eixo vertical "Y" em cm^4 ;
- r_x - raio de giração eixo horizontal "X" em cm;
- r_y - raio de giração no eixo vertical "Y" em cm;
- C_w - constante de empenamento da seção transversal;
- J - Constante de torção

4.4 Propriedades Mecânicas do Perfil Coluna

Conforme documentação existente da estrutura porta palete, não foi possível obter informações das propriedades mecânicas dos perfis de colunas. Com isso, o cliente [REDACTED] coletou uma amostra de coluna para ensaio mecânico, e assim obteve as propriedades mecânicas do perfil. De acordo com o documento gerado pela [REDACTED], documento este apresentado como **ANEXO A** desta memória de cálculo, considera-se o perfil de coluna com limite de escoamento igual a 300 MPa $f_y=300$ MPa.

4.5 Propriedades Mecânicas do Perfil Longarina

Conforme documentação existente da estrutura porta palete, não foi possível obter informações das propriedades mecânicas dos perfis de longarinas. Com isso, o cliente [REDACTED] coletou uma amostra de longarina para ensaio mecânico, e assim obteve as propriedades mecânicas do perfil. De acordo com o documento gerado pela [REDACTED], documento este apresentado como **ANEXO B** desta memória de cálculo, considera-se o perfil de coluna com limite de escoamento igual a 280 MPa $f_y=280$ MPa.

4.6 Carregamentos de Projetos

O projeto consiste em unidades de carga com paletes de 3 esquis, frente operacional de 1150mm, profundidade de 1350mm e altura de 750mm/900mm. O projeto do fornecedor da estrutura consiste em paletes com cargas de 500 Kgf e 700 Kgf. Todavia, para a estrutura atender os parâmetros normativos atuais e os esforços provenientes do transelevador [REDACTED], foi verificado pela memória de

cálculo dois tipos de configurações de módulos.

- Para os módulos com 13 níveis de longarinas, 500 Kgf por unidade de carga;
- Para os módulos com 11 níveis de longarinas, assim como o módulo em balanço, considerar 700 Kgf por unidade de carga para o último nível de armazenagem e os demais níveis de 520 Kgf por unidade de carga.

4.7 Carregamentos do Equipamento Transelevador

De acordo com o documento do **ANEXO C**, do fabricante **ULMA**, obtém-se os esforços de movimentação. De acordo com esse documento, considera-se que o transelevador com dois pontos no trilho guia superior e para cada apoio exerce na estrutura uma carga de 418 Kgf. Como são dois apoios, a carga horizontal exercida no topo da estrutura e eixo Z (sentido da profundidade dos montantes) possui valor igual a 836 Kgf (2 x 418 Kgf).

4.8 Dimensionais da Estrutura

Os dimensionais da estrutura foram adotados de acordo com o projeto realizado de número SELT-INSP-019.25.

4.9 Software Utilizado

Para se verificar os elementos estruturais de forma individual, assim como fazer uma análise global da estrutura, foi utilizado o software STRAP. Desta forma, os resultados de dimensionamentos apresentados neste documento, foram extraídos deste software.

5 DIMENSIONAMENTO

A seguir, será apresentado os resultados do dimensionamento realizado no software STRAP, conforme os dados técnicos informados no item 3 e parâmetros normativos das normas citadas no item 4 deste documento. Os coeficientes de ponderação satisfazem aos itens 7.4 e 7.5 da NBR 17150. Os limites de deformações satisfazem a norma FEM 9.831/10.3.01.

5.1 Verificação da Longarina, Vão de 2500mm, Bi Apoiado, Unidades de cargas com 520Kgf e 700Kgf

Elemento estrutural verificado conforme norma NBR 17150 e NBR 14762, na situação ELS (estado limite de serviço) e ELU (estado limite último).

CALCULO	EQUAÇÃO	FATORES	VALORES	RESULT
V2 Shear (G2.1-5)	$Vu/(\phi_v V_n) < 1.00$ $V_n = 0.60 \cdot F_y \cdot h \cdot t$	$\phi_v = 0.95$ $h \cdot t = 2.44$	$V_u = 449.13$ $V_n = 3661.00$	0.13
M3 Moment (F2.1-1)	$\frac{M_u}{\phi_b M_n} < 1.00$	$S_e = 16.27$ $F_y = 250.00$ $\phi_b = 0.90$	$M_u = 280.70$ $M_n = 406.87$	0.77
M3 Moment and Shear (H2-1)	$\sqrt{\left(\frac{M_u}{\phi_b M_n}\right)^2 + \left(\frac{V_u}{\phi_v V_n}\right)^2} < 1.00$		$M_u = 280.70$ $V_u = 0.00$	0.77
Distortion M3 F4.1	$\frac{M}{0.9 M_n} < 1.00$	$\lambda_d = 0.613$ $M_{crd} = 1118.16$ $\beta = 1.00$ $L_{cr} = 22.54$	$M = 280.70$ $M_n = 420.43$ $F_d = 613.27$	0.74
Deflection	$\frac{\text{defl.}}{L / 200} < 1.00$	$l_{xe} = 67.54$ $l_{ye} = 24.51$	$\text{defl} = 0.01074$	0.86
Axial Force (D2-1)	$\frac{T_u}{\phi_t A_g F_y} < 1.00$	$\phi_t = 0.90$ Area Red. = 1.00	$T_u = 35.48$ $A_g = 6.62$ $A_n = 6.62$ $F_y = 250.00$	0.00
Lateral Torsional Buckling (F2.1-1)	$\frac{M_u}{\phi_b M_n} < 1.00$	$S_c = 16.27$ $S_f = 16.82$ $L_e = 2.50$ $C_b = 1.14$ $\sigma_t = 34860.8$ $\sigma_{ey} = 118.9$ $\sigma_{ex} = 325.9$ $\phi_b = 0.90$	$M_u = 280.70$ $M_n = 397.58$ $M_c = 420.43$ $M_e = 5743.53$ $M_y = 420.43$ $r_o = 3.73$	0.78
Critical Segment from 0.00 to 2.50 at: flange superior - esquerda Segment End Moments: 0.00 and 0.00				
Combined Stresses (tension) (H1.1-1)	$\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nxt}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{nyt}} + \frac{T_u}{\phi_t T_n} < 1.00$		$M_{ux} = -280.70$ $M_{nxt} = 415.15$ $M_{uy} = 0.00$ $M_{nyt} =$	0.74
Combined Stresses (H1.1-2)	$\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} < 1.00$		$M_{ux} = 280.70$ $M_{nx} = 397.58$ $M_{uy} = 0.00$ $M_{ny} = 211.51$	0.78
at: flange superior - esquerda at L = 1.25				

5.2 Verificação da Longarina, Vão de 2900mm, Bi Apoiado, Unidades de cargas com 500 Kgf

Elemento estrutural verificado conforme norma NBR 17150 e NBR 14762, na situação ELS (estado limite de serviço) e ELU (estado limite último).

Força Axial Máx. = -118.93 (compr.) Força Cortante Máx. = 359.42				
CALCULO	EQUAÇÃO	FATORES	VALORES	RESULT
V2 Shear (G2.1-5)	$Vu/(\phi v \cdot Vn) < 1.00$ $Vn = 0.60 \cdot Fy \cdot h \cdot t$	$\phi v = 0.95$ $h \cdot t = 2.44$	$Vu = 359.42$ $Vn = 3661.00$	0.10
M3 Moment (F2.1-1)	$\frac{Mu}{\phi b \cdot Mn} < 1.00$	$Se = 16.27$ $Fy = 250.00$ $\phi b = 0.90$	$Mu = 260.58$ $Mn = 406.87$	0.71
M3 Moment and Shear (H2-1)	$\sqrt{\left(\frac{Mu}{\phi b \cdot Mn}\right)^2 + \left(\frac{Vu}{\phi v \cdot Vn}\right)^2} < 1.00$		$Mu = 260.58$ $Vu = 0.00$	0.71
Distortion M3 F4.1	$\frac{M}{0.9Mn} < 1.00$	$\lambda d = 0.613$ $Mcrd = 1118.16$ $\beta = 1.00$ $Lcr = 22.54$	$M = 260.58$ $Mn = 420.43$ $Fd = 613.27$	0.69
Deflection	$\frac{defl.}{L / 200} < 1.00$	$lxe = 67.54$ $lye = 24.51$	$defl = 0.01211$	0.84
Axial Force (E.2-3) (E2.1-1)	$\frac{Pu}{\phi c \cdot Pn} < 1.00$ $Pn = Ae \cdot Fy \cdot (0.877 / \lambda c)^2$ $Fe = \pi^2 \cdot E / (kL/r)^2$	$(kL/r)x = 91$ $(kL/r)y = 151$ $\phi c = 0.85$ $\lambda c = 1.68$	$Pu = 118.93$ $A = 6.62$ $Pn = 5155.13$ $Fy = 250.00$ $Ae = 6.62$ $Fe = 88.74$	0.03
Lateral Torsional Buckling (F2.1-1)	$\frac{Mu}{\phi b \cdot Mn} < 1.00$	$Sc = 16.27$ $Sf = 16.82$ $Le = 2.90$ $Cb = 1.14$ $\sigma t = 34851.6$ $\sigma ey = 88.4$ $\sigma ex = 242.6$ $\phi b = 0.90$	$Mu = 260.58$ $Mn = 397.58$ $Mc = 420.43$ $Me = 4953.29$ $My = 420.43$ $ro = 3.73$	0.73
Critical Segment from 0.00 to 2.90 at: flange superior - esquerda Segment End Moments: 0.00 and 0.00				
Combined Stresses (compress.) (H1.2-1)	$\frac{Pu}{\phi c \cdot Pn} + \frac{Mux}{\phi b \cdot Mnx} + \frac{Muy}{\phi b \cdot Mny} < 1.00$		$Mux = 260.58$ $Mnx = 397.58$ $Muy = 0.00$ $Mny = 211.51$	0.76
$(0.03 + 0.73 + 0.00)$ Critical Segment from 0.00 to 2.90 at: flange superior - esquerda at L = 1.45				

5.3 Verificação da Longarina, Vão de 1270mm, Bi Apoiado, Unidades de cargas com 520 Kgf e 700 Kgf

Elemento estrutural verificado conforme norma NBR 17150 e NBR 14762, na situação ELS (estado limite de serviço) e ELU (estado limite último).

CALCULO	EQUAÇÃO	FATORES	VALORES	RESULT
V2 Shear (G2.1-5)	$Vu/(\phi_v V_n) < 1.00$ $V_n = 0.60 F_y h^* t$	$\phi_v = 0.95$ $h^* t = 2.44$	$V_u = 372.13$ $V_n = 3661.00$	0.11
M3 Moment (F2.1-1)	$\frac{M_u}{\phi_b M_n} < 1.00$	$S_e = 16.27$ $F_y = 250.00$ $\phi_b = 0.90$	$M_u = 232.58$ $M_n = 406.87$	0.64
M3 Moment and Shear (H2-1)	$\sqrt{\left(\frac{M_u}{\phi_b M_n}\right)^2 + \left(\frac{V_u}{\phi_v V_n}\right)^2} < 1.00$		$M_u = 232.58$ $V_u = 0.00$	0.64
Distortion M3 F4.1	$\frac{M}{0.9 M_n} < 1.00$	$\lambda_d = 0.613$ $M_{crd} = 1118.16$ $\beta = 1.00$ $L_{cr} = 22.54$	$M = 232.58$ $M_n = 420.43$ $F_d = 613.27$	0.61
Deflection	$\frac{\text{defl.}}{L / 200} < 1.00$	$l_{xe} = 67.54$ $l_{ye} = 24.51$	$\text{defl} = 0.00803$	0.64
Axial Force (D2-1)	$\frac{T_u}{\phi_t A_g F_y} < 1.00$	$\phi_t = 0.90$ Area Red. = 1.00	$T_u = 11.67$ $A_g = 6.62$ $A_n = 6.62$ $F_y = 250.00$	0.00
Lateral Torsional Buckling (F2.1-1)	$\frac{M_u}{\phi_b M_n} < 1.00$	$S_c = 16.27$ $S_f = 16.82$ $L_e = 2.50$ $C_b = 1.14$ $\sigma_t = 34860.8$ $\sigma_{ey} = 118.9$ $\sigma_{ex} = 325.9$ $\phi_b = 0.90$	$M_u = 232.58$ $M_n = 397.58$ $M_c = 420.43$ $M_e = 5743.53$ $M_y = 420.43$ $r_o = 3.73$	0.65
Combined Stresses (H1.1-2)	$\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} < 1.00$		$M_{ux} = 232.58$ $M_{nx} = 397.58$ $M_{uy} = 0.00$ $M_{ny} = 211.51$	0.65
	at: flange superior - esquerda at L = 1.25			

5.4 Verificação da Coluna

Elemento estrutural verificado conforme norma NBR 17150 e NBR 14762, na situação ELU (estado limite último) para se verificar exclusivamente as deformações. Para os carregamentos, foi considerado todas as unidades de carga armazenadas e mais os esforços provenientes da movimentação do transelevador.

Para o ELU (estado limite último), todos os valores de esforços com efeitos desfavoráveis, foi considerado $\gamma_q=1,4$ de acordo com a tabela 4 da NBR17150.

Força Axial Máx. = -10356.2 (compr.) Força Cortante Máx. = 37.21				
CALCULO	EQUAÇÃO	FATORES	VALORES	RESULT
Deflection	$\frac{\text{defl.}}{L / 200} < 1.00$	$l_{xe} = 12.36$ $l_{ye} = 39.77$	$\text{defl} = 0.00011$	0.03
Axial Force (E2-2) (E2.2-1)	$\frac{P_u}{\phi_c \cdot P_n} < 1.00$ $P_n = A_e \cdot F_y \cdot (0.658^{\lambda_c})$ $F_e = (\sigma_x + \sigma_t - \sqrt{((\sigma_x + \sigma_t)^2 - 4\beta \sigma_x \sigma_t)}) / 2\beta$	$(kL/r)_x = 30$ $(kL/r)_y = 27$ $\phi_c = 0.85$ $\lambda_c = 0.51$	$P_u = 10356.2$ $A = 6.39$ $P_n = 12352.7$ $F_y = 300.00$ $A_e = 4.59$ $F_e = 1161.01$	0.99
Axial Distortion E4.1	$\frac{P_u}{\phi_b \cdot P_{nd}} < 1.00$	$\lambda_d = 0.473$ $P_{crd} = 85778.94$ $L_{cr} = 27.85$	$P_u = 10356.2$ $P_{nd} = 19169.6$ $F_{crd} = 1342.42$	0.64

5.5 Verificação das Diagonais e Travessas

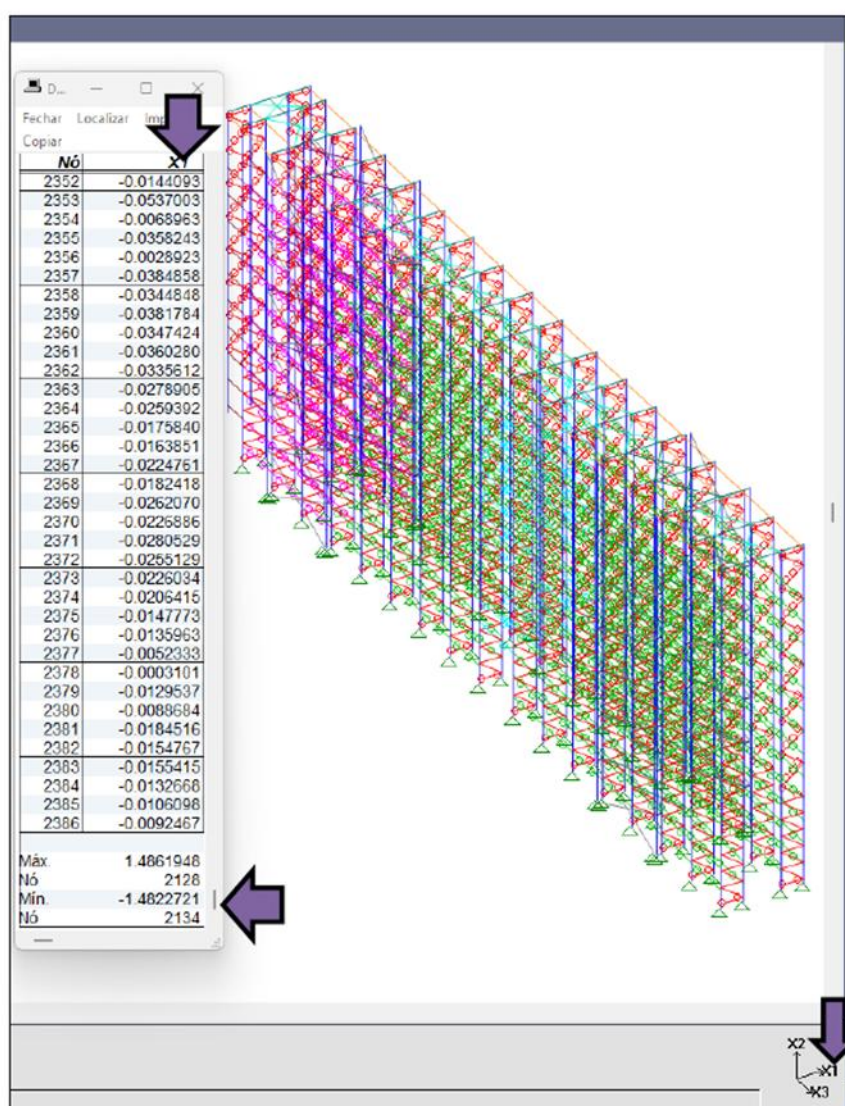
Elemento estrutural verificado conforme norma NBR 17150 e NBR 14762, na situação ELU (estado limite último) para se verificar exclusivamente as deformações. Para os carregamentos, foi considerado todas as unidades de cargas armazenadas e mais os esforços provenientes da movimentação do transelevador.

Força Axial Máx. = -122.62 (compr.) Força Cortante Máx. = 1.90				
CALCULO	EQUAÇÃO	FATORES	VALORES	RESULT
M3 Moment (F2.1-1)	$\frac{M_u}{\phi_b M_n} < 1.00$	Se = 1.80 Fy = 250.00 $\phi_b = 0.90$	Mu = 1.05 Mn = 44.97	0.03
Distortion M3 F4.1	$\frac{M}{0.9 M_n} < 1.00$	$\lambda d = 0.323$ Mcrd = 431.69 $\beta = 1.00$ Lcr = 10.38	M = 1.05 Mn = 44.97 Fd = 2291.93	0.03
Axial Force (E.2-3) (E2.1-1)	$\frac{P_u}{\phi_c P_n} < 1.00$ Pn=Ae*Fy*(0.877/ λc^2) Fe= π^2 *E/(kL/r) ²	(kL/r)x=87 (kL/r)y=181 $\phi_c = 0.85$ $\lambda c = 2.01$	Pu = 122.62 A = 1.55 Pn = 840.03 Fy = 250.00 Ae = 1.55 Fe = 61.76	0.17
Axial Distortion E4.1	$\frac{P_u}{\phi_b P_{nd}} < 1.00$	$\lambda d = 0.392$ Pcrd = 25171.36 Lcr = 11.48	Pu = 122.62 Pnd = 3877.41 Fcrd = 1622.95	0.04
Lateral Torsional Buckling (F2.1-1)	$\frac{M_u}{\phi_b M_n} < 1.00$	Sc = 1.80 Sf = 1.80 Le = 1.33 Cb = 2.62 $\sigma t = 179.8$ $\sigma_{ey} = 61.5$ $\sigma_{ex} = 261.8$ $\phi_b = 0.90$	Mu = 1.05 Mn = 44.16 Mc = 44.16 Me = 107.46 My = 44.97 ro = 2.51	0.03
Combined Stresses (compress.) (H1.2-1)	$\frac{P_u}{\phi_c P_n} + \frac{C_{mx} M_{ux}}{\phi_b M_{nx} \alpha_x} + \frac{C_{my} M_{uy}}{\phi_b M_{ny} \alpha_y} < 1.00$	Cmx = 0.85 Cmy = 0.85 $\alpha_x = 0.97$ $\alpha_y = 0.87$	Mux = 1.05 Muy = 0.00 Mnx = 44.16 Mny = 17.05	0.19
Critical Segment from 0.00 to 1.33 at: flange inferior - esquerda Segment End Moments: 0.36 and -1.05				
Critical Segment from 0.00 to 1.33 at: flange inferior - direita at L = 1.33				

5.6 Verificação das Diagonais e Travessas

De acordo com a norma FEM 9.831, item 4.11.3.2, foi adotado a deformação V58, sentido da profundidade dos montantes, para valores de estrutura com alturas até 15 metros, ou seja, deformação máxima de 15mm. Essa verificação é feita na situação ELS (estado limite de serviço). Na imagem abaixo, a tabela informa os valores máximos e mínimos de 1,48cm = 14,8mm de deformação.

Como 14,8mm é menor que 15mm, a estrutura se encontra apta a operar com as cargas do transelevador, desde que se atenda as premissas citadas na conclusão deste documento.



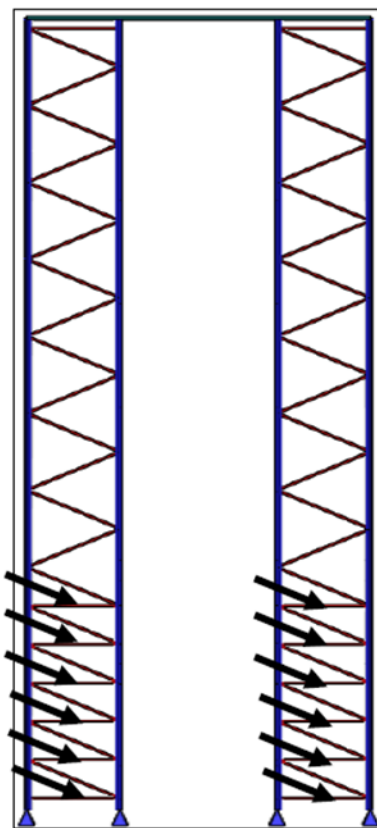
Como não se tem informações da rigidez de ligação entre sapata e piso, foi adotado no modelo de cálculo uma ligação articulada entre sapata e piso. Como nenhum ponto ligação é totalmente articulado, entende-se que os valores de deformações tendem à ser menor que 14,8mm.

6 CONCLUSÃO

Para verificações de deformações máximas da estrutura, foram consideradas situações de rotulas articuladas para elementos como longarinas em seus apoios, deformação lateral da estrutura considerando os apoios dos montantes rotulados e não com uma certa rigidez rotacional. Poderia ser considerado valores de rigidez para essas ligações/rotulas, desde que essas informações estivessem explícitas no databook do fornecedor da estrutura. O fato de analisar a estrutura de forma global com as suas ligações rotuladas, potencializa a segurança do sistema de armazenagem. Em conjunto com essa memória de cálculo, estão os **ANEXOS A / B / C** que auxiliam os resultados deste trabalho. Conforme já dito no item 01 deste documento essa memória de cálculo tem por finalidade verificar a viabilidade de se utilizar o transelevador do fabricante █████, na estrutura existente do fabricante █████. Essa viabilidade é possível, desde que seja atendido as premissas citadas nos subitens abaixo.

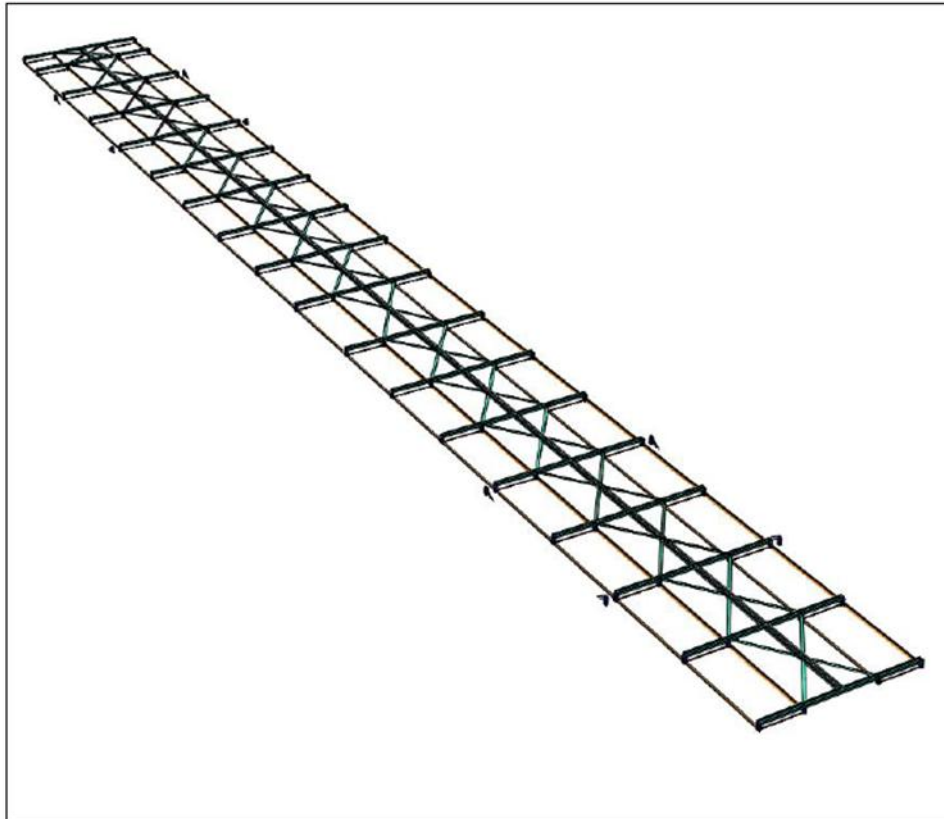
6.1 Instalação de Travessas Adicionais

De acordo com a imagem da vista lateral do montante abaixo, se faz necessário a instalação de travessas indicadas pelas setas.



6.2 Contraventamento Superior em Todos os Módulos

De acordo com a imagem abaixo da vista superior da estrutura, se faz necessário a instalação dos contraventamentos superiores em todos os módulos. Além de diminuir os esforços na estrutura gerado pelas cargas horizontais provenientes do transelevador, esses elementos irão auxiliar em muito a equipe de manutenção, para se realizar as correções de alinhamentos e desaprumos, uma vez que, a estrutura já possui alguns vícios de deformações.



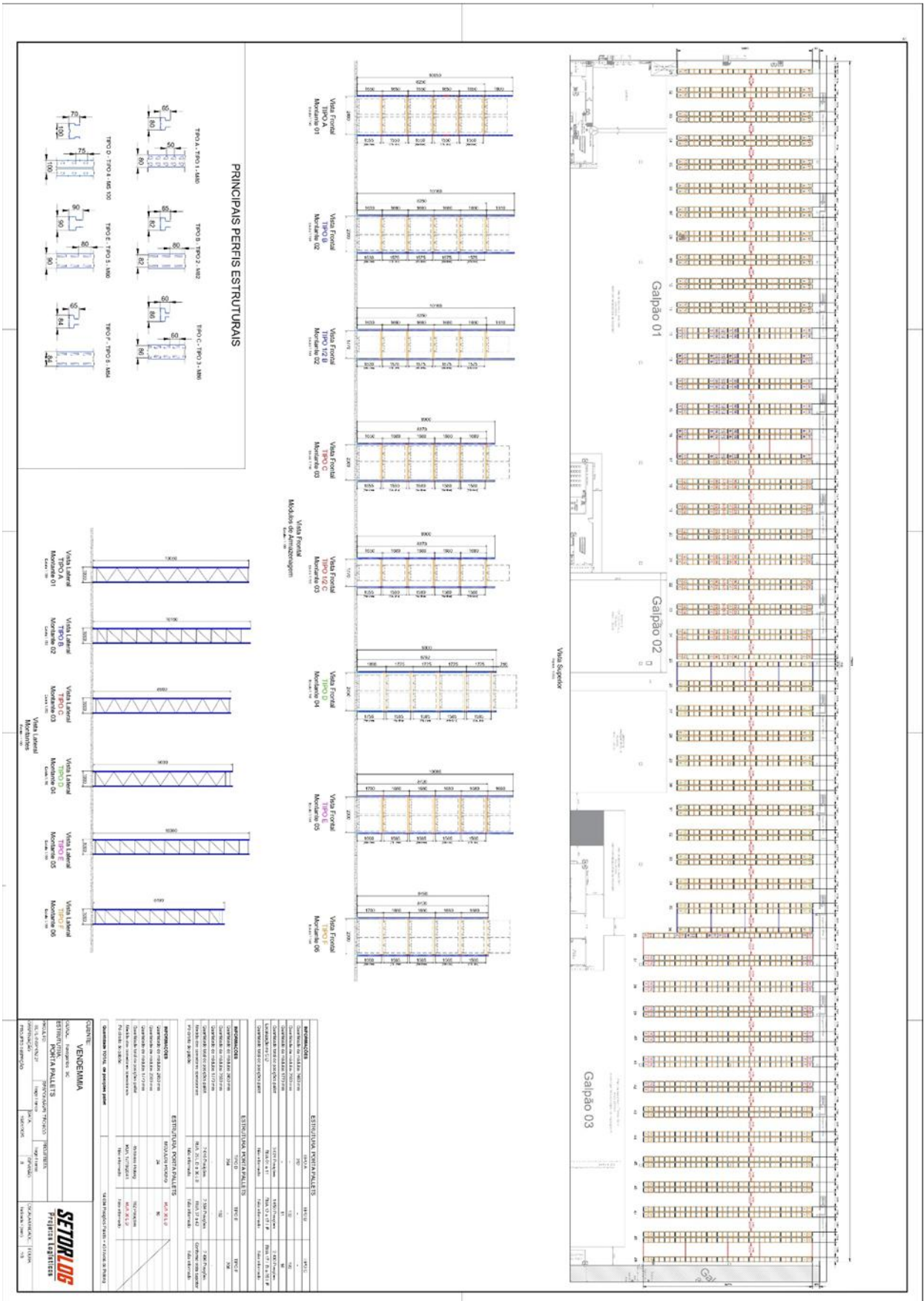
6.3 Limite de Carga para as Unidades de Carga

Verificar o projeto informado no item 4.6 deste documento para identificar os posicionamentos das unidades de cargas para os módulos tipo A sendo de 520 Kgf e 700 Kgf (Somente no ultimo nível de armazenagem) e par os módulos tipo B,C e D de 480 Kgf e 600 Kgf (somente para o ultimo nível de armazenagem).

Responsável Técnico:

Tiago Franco
CREA 5071290647

ANEXO C – PROJETO AS-BUILT. ESTUDO DE CASO GALPÃO LOGÍSTICO A



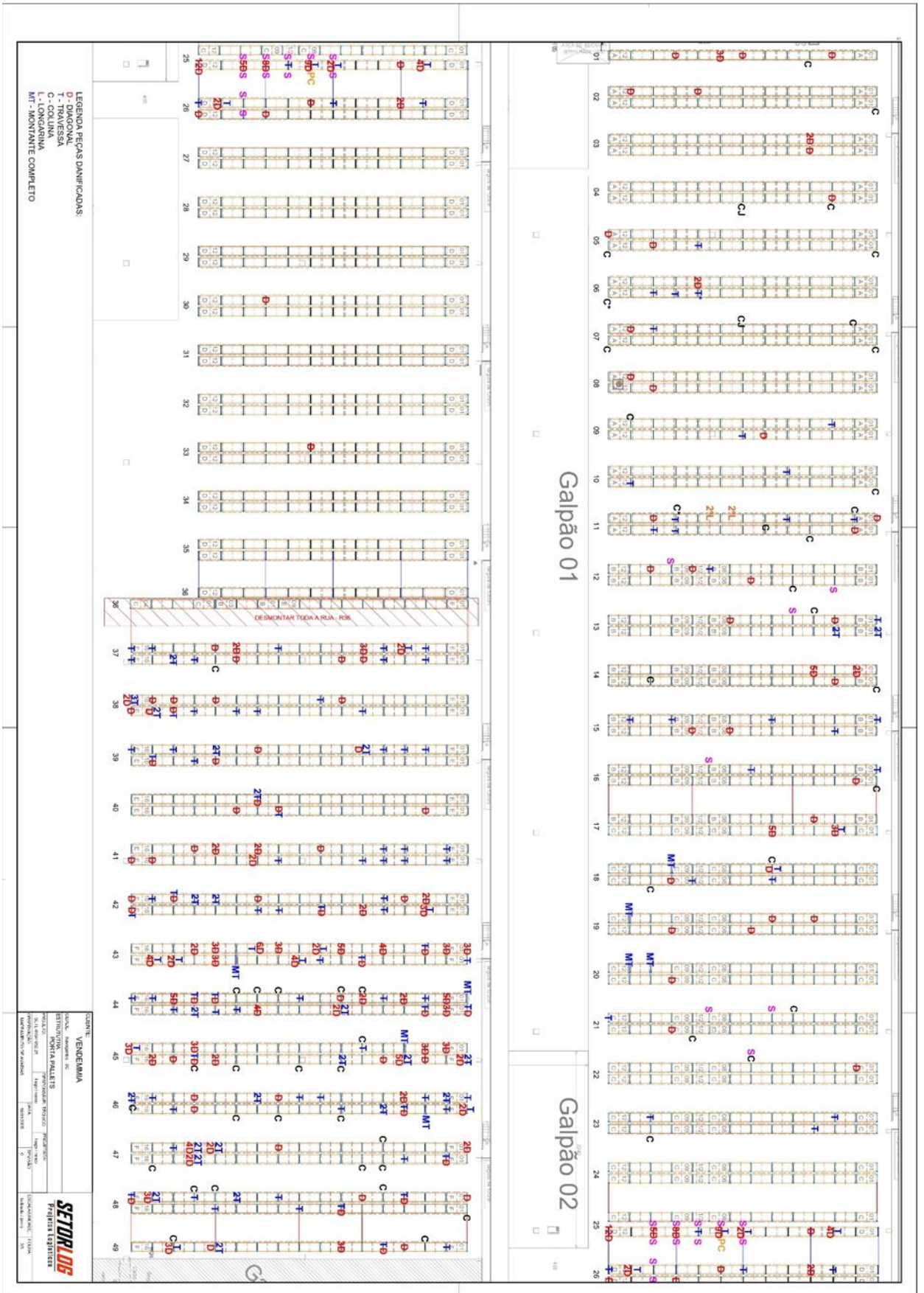
ESTRUTURA DE MADEIRA		ESTRUTURA DE ALUMÍNIO	
TIPO	4AB	TIPO	4AB
PROFUNDIDADE	100	PROFUNDIDADE	100
ESPESURA	10	ESPESURA	10
TIPO	4AB	TIPO	4AB
PROFUNDIDADE	100	PROFUNDIDADE	100
ESPESURA	10	ESPESURA	10

ESTRUTURA DE MADEIRA		ESTRUTURA DE ALUMÍNIO	
TIPO	4AB	TIPO	4AB
PROFUNDIDADE	100	PROFUNDIDADE	100
ESPESURA	10	ESPESURA	10
TIPO	4AB	TIPO	4AB
PROFUNDIDADE	100	PROFUNDIDADE	100
ESPESURA	10	ESPESURA	10

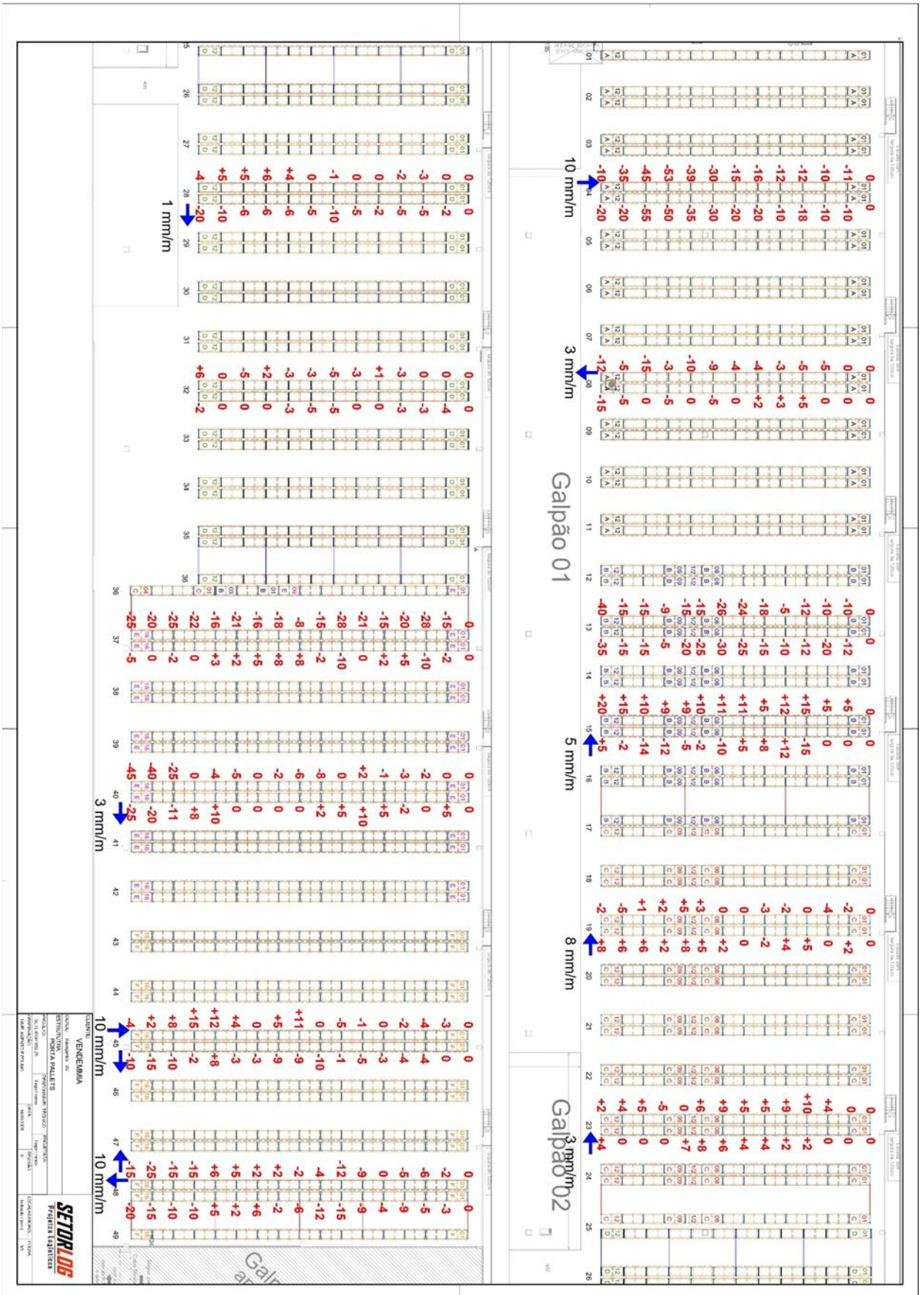
ESTRUTURA DE MADEIRA		ESTRUTURA DE ALUMÍNIO	
TIPO	4AB	TIPO	4AB
PROFUNDIDADE	100	PROFUNDIDADE	100
ESPESURA	10	ESPESURA	10
TIPO	4AB	TIPO	4AB
PROFUNDIDADE	100	PROFUNDIDADE	100
ESPESURA	10	ESPESURA	10



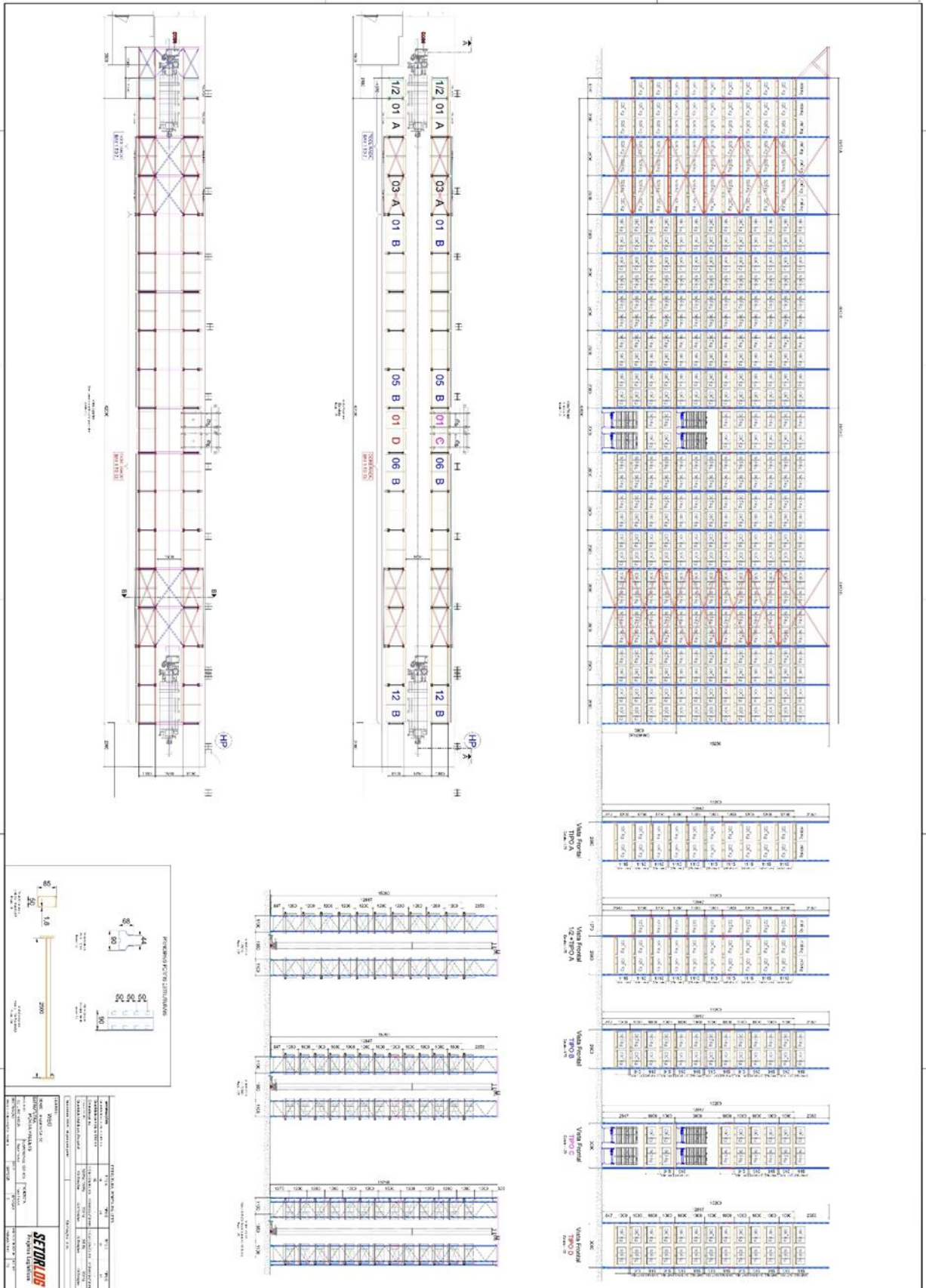
ANEXO D – MAPEAMENTO. ESTUDO DE CASO GALPÃO LOGÍSTICO A



ANEXO E – DESNÍVEL. ESTUDO DE CASO GALPÃO LOGÍSTICO A



ANEXO F – PROJETO AS-BUILT. ESTUDO DE CASO GALPÃO LOGÍSTICO B



ANEXO H – MAPEAMENTO DIMENSIONAL. ESTUDO DE CASO GALPÃO LOGÍSTICO B

