



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E
TERRITÓRIO (ILATIT)**

ENGENHARIA CIVIL DE INFRAESTRUTURA

**CRITÉRIOS ARQUITETÔNICOS E TÉCNICOS PARA O PROJETO EXECUTIVO
DE UM GALPÃO INDUSTRIAL DE PRODUÇÃO DE RAÇÃO COM DESEMPENHO
ENERGÉTICO OTIMIZADO**

ALESSIA SAMANTA CACERES CAMACHO

ORIENTADOR: PROF. DR. AREF KZAM

**Foz do Iguaçu
2025**



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E
TERRITÓRIO (ILATIT)**

ENGENHARIA CIVIL DE INFRAESTRUTURA

**CRITÉRIOS ARQUITETÔNICOS E TÉCNICOS PARA O PROJETO EXECUTIVO
DE UM GALPÃO INDUSTRIAL DE PRODUÇÃO DE RAÇÃO COM DESEMPENHO
ENERGÉTICO OTIMIZADO**

ALESSIA SAMANTA CACERES CAMACHO

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Banca Examinadora do Curso de Engenharia Civil de Infraestrutura da UNILA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheira Civil de Infraestrutura.

Orientador: Prof. Dr. Aref Kzam

**Foz do Iguaçu
2025**

ALESSIA SAMANTA CACERES CAMACHO

**CRITÉRIOS ARQUITETÔNICOS E TÉCNICOS PARA O PROJETO EXECUTIVO
DE UM GALPÃO INDUSTRIAL DE PRODUÇÃO DE RAÇÃO COM DESEMPENHO
ENERGÉTICO OTIMIZADO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Banca Examinadora do Curso de Engenharia Civil de Infraestrutura da UNILA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheira Civil de Infraestrutura.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Aref Kzam
UNILA

Prof. Dr. Ulises Bobadilla Guadalupe
UNILA

Prof. Dr. Adriana Zemiani Challiol
UNILA

Foz do Iguaçu, 2025.

Dedico este trabalho a Deus e aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus em primeiro lugar, pois Ele é o meu sustento e, sem Ele, nada seria possível.

Aos meus pais, Edgar e Elizabeth, que nunca duvidaram de mim e sempre me deram um apoio incondicional, jamais medindo esforços por mim e pela minha felicidade e paz, especialmente nos momentos difíceis do curso e nas diversas dificuldades enfrentadas. O investimento de vocês na minha educação e no meu futuro, sem medir esforços, me dando todos os privilégios que puderam nessa caminhada, é uma das grandes provas de amor que recebi na vida. É um orgulho para mim poder concluir este período e dedicá-lo a vocês, pois esta é uma conquista nossa.

Aos meus irmãos, que tornam tudo mais leve, satirizando situações complicadas e tornando-as engraçadas, me ajudando a enxergar os desafios de forma mais leve e sempre estando presentes para mim incondicionalmente.

Aos meus amigos, que fizeram parte dessa caminhada e foram essenciais para minha permanência no curso. As noites estudando por videochamada no Google Meet, as tardes nas salas de estudo, sempre rindo e nos apoiando mutuamente, aprendendo juntos, ficarão marcadas na minha memória. Agradeço àqueles amigos também que estiveram comigo desde 2019, mesmo que tenham seguido outros caminhos, e principalmente aos que continuaram ao meu lado nos últimos anos, segurando minha mão nos momentos mais importantes e me incentivando a seguir em frente. Com vocês os dias no PTI foram mais leves, a presença de vocês tornou tudo mais legal nesse período universitário.

Aos meus amigos do Paraguai, que sempre me incentivaram e me compreenderam. O apoio de vocês foi muito importante para mim.

Ao meu namorado, que sempre me apoiou e esteve comigo quando precisei abrir mão do nosso tempo juntos para estudar. Sua companhia durante as noites de estudo e seu apoio constante foram essenciais para mim.

A todos os professores, em especial ao meu orientador Aref Kzam, agradeço por toda a ajuda neste trabalho, sua orientação e disponibilidade foram fundamentais para que este projeto se concretizasse. Muito obrigada pelo apoio e confiança.

Ao olhar para esta jornada, percebo que nada disso seria possível sem a soma de esforços, amizades verdadeiras e o apoio constante que recebi. Agradeço de

coração a cada pessoa que contribuiu para que este momento se tornasse realidade.

"Nenhuma força é maior do que aquela que nasce quando não caminhamos sozinhos."

— Autor Desconhecido

RESUMO

O presente estudo apresenta as premissas arquitetônicas, técnicas e normativas necessárias ao desenvolvimento de um projeto executivo de galpão industrial destinado à produção de ração bovina a granel, com foco em desempenho energético otimizado e conformidade com as exigências do setor agroindustrial. Diante do papel estratégico da nutrição animal na cadeia produtiva da pecuária brasileira e da crescente demanda por edificações mais eficientes e sustentáveis, torna-se essencial estabelecer parâmetros claros que orientem o planejamento de estruturas industriais adequadas a essa finalidade. A pesquisa possui natureza exploratória, qualitativa e aplicada, fundamentando-se em revisão bibliográfica, análise documental de normas técnicas e estudo climático da cidade de São Paulo utilizando o software Climate Consultant 6.0. A partir disso, foram identificadas e organizadas as diretrizes que devem nortear o desenvolvimento de projetos, abrangendo aspectos funcionais da linha de produção, critérios de eficiência energética, seleção de materiais, compatibilidade entre sistemas construtivos e requisitos sanitários e ambientais. Os resultados destacam a importância da abordagem integrada entre arquitetura, engenharia e legislação, visando garantir a viabilidade técnica, ambiental e econômica das instalações para um projeto energeticamente eficiente. O trabalho contribui como subsídio técnico para profissionais da área e para futuros projetos no setor de nutrição animal.

Palavras chave: normativas, galpão industrial, eficiência energética, ração bovina.

ABSTRACT

This study presents the architectural, technical, and regulatory premises necessary for the development of an executive project for an industrial warehouse intended for the bulk production of cattle feed, focusing on optimized energy performance and compliance with the requirements of the agro-industrial sector. Given the strategic role of animal nutrition in the Brazilian livestock production chain and the growing demand for more efficient and sustainable buildings, it is essential to establish clear parameters to guide the planning of industrial structures suited to this purpose. The research is exploratory, qualitative, and applied in nature, based on literature review, documentary analysis of technical standards, and climatic study of the city of São Paulo using the Climate Consultant 6.0 software. Based on this, guidelines were identified and organized to guide project development, covering functional aspects of the production line, energy efficiency criteria, material selection, compatibility between building systems, and sanitary and environmental requirements. The results highlight the importance of an integrated approach between architecture, engineering, and legislation, aiming to ensure the technical, environmental, and economic feasibility of facilities for an energy-efficient project. This work serves as a technical resource for professionals in the field and for future projects in the animal nutrition sector.

Keywords: regulations, industrial warehouse, energy efficiency, cattle feed.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1 OBJETIVOS.....	13
1.1.1 Objetivo Geral.....	13
1.1.2 Objetivos Específicos.....	13
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	14
2.1 PROJETO EXECUTIVO.....	14
2.1.1 Etapas De Um Projeto Executivo em Engenharia Civil.....	15
2.1.1.1 Estudo preliminar.....	15
2.1.1.2 Anteprojeto ou projeto básico.....	16
2.1.1.3 Desenvolvimento dos projetos complementares.....	16
2.1.1.4 Projeto executivo.....	16
2.1.1.5 Orçamento e cronograma.....	16
2.1.1.6 Compatibilização dos projetos.....	17
2.1.1.7 Aprovação e licenciamento.....	17
2.1.1.8 Acompanhamento técnico e revisões.....	17
2.1.2 Especificidades de Projetos Industriais.....	17
2.2 CARACTERÍSTICAS DE GALPÕES INDUSTRIAIS.....	19
2.3 A INDÚSTRIA PECUÁRIA NO BRASIL.....	21
2.4 PROCESSO DE PRODUÇÃO DE RAÇÃO BOVINA.....	22
2.4.1 Etapas e Técnicas de Produção de Ração Bovina.....	22
2.4.2 Equipamentos e Maquinários Necessários.....	24
2.4.3 Exigências Sanitárias e de Qualidade no Setor de Ração Animal.....	25
2.4.4 Sustentabilidade e Eficiência Energética.....	27
2.5 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS.....	28
3. METODOLOGIA.....	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	32
4.1 LINHA DE PRODUÇÃO E MODELO ARQUITETÔNICO.....	32
4.1.1 Área de Recepção.....	32
4.1.2 Área de Moagem.....	34
4.1.3 Área de Mistura.....	36
4.1.4 Área de Peletização e Armazenamento.....	38
4.1.5 Setor Administrativo e de Funcionários do Galpão.....	39
4.2 ESTRATÉGIAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA UTILIZADAS NO MODELO ARQUITETÔNICO.....	40
4.2.1 Análise Climática da Cidade de São Paulo.....	40
4.2.2 Estratégias Adotadas.....	43
4.3 SISTEMA ESTRUTURAL.....	48
4.4 INSTALAÇÕES ELÉTRICAS.....	51
4.5 INSTALAÇÕES HIDROSSANITÁRIAS.....	52

4.6	INSTALAÇÕES DE INCÊNDIO.....	55
4.7	MEMORIAL DE CÁLCULO ESTRUTURAL PROPOSTO PARA PROJETO..	56
4.7.1	Dados Do Projeto.....	56
4.7.1.1	Normas Consideradas No Projeto.....	57
4.7.1.2	Modelo De Telhas Adotadas No Projeto.....	58
4.7.1.3	Especificação Das Terças.....	58
4.7.1.4	Especificação Das Treliças.....	58
4.7.1.5	Especificação Dos Contraventamentos.....	58
4.7.2	Memorial De Cálculo Estrutural.....	59
4.7.2.1	Carregamento.....	59
4.7.2.1.1	Cargas Atuantes na Cobertura.....	59
4.7.2.1.1.1	Carregamento permanente.....	59
4.7.2.1.1.2	Sobrecarga.....	59
4.7.2.2	Análise Do Vento.....	59
4.7.2.2.1	Metodologia De Cálculo.....	59
4.7.2.2.1.1	Pressão Dinâmica Do Vento.....	60
4.7.2.2.1.2	Coeficientes Aerodinâmicos.....	64
4.7.2.2.2	Resultados.....	65
4.7.2.2.2.1	Cálculo Do Coeficiente De Pressão E Forma Externos (Ce):.....	68
4.7.2.2.2.2	Cálculo Do Coeficiente De Pressão E Forma Internos (Ci):.....	69
4.7.2.2.2.3	Coeficientes De Pressão E Forma Internos Máximos E Mínimos:.....	70
4.7.2.2.2.4	Coeficientes finais.....	71
4.7.2.3	Dimensionamento Das Terças.....	71
4.7.2.4	Dimensionamento Da Estrutura Treliçada.....	73
4.7.2.5	Situações De Projeto.....	73
4.7.3	Resultados De Dimensionamento Da Estrutura Metálica.....	76
4.7.4	Interpretação Dos Resultados Obtidos.....	81
4.7.4.1	Ações De Projeto Governantes.....	81
4.7.4.2	Resultados Por Elementos Estruturais.....	81
4.7.4.2.1	Perfis W14×90.....	81
4.7.4.2.2	Perfis W8×18.....	81
4.7.4.2.3	Perfis W18×97.....	82
4.7.4.3	Estabilidade Global E Travamento Lateral.....	82
4.7.4.4	Interpretação Global Dos Resultados.....	82
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	84
	REFERÊNCIAS.....	85

1. INTRODUÇÃO

A pecuária bovina desempenha papel central na economia de diversos países da América do Sul, com destaque para o Brasil, que figura entre os maiores produtores e exportadores de carne bovina do mundo. Dentro desse setor, a alimentação animal representa um dos principais componentes de custo, sendo determinante para a produtividade e a viabilidade econômica da atividade. A produção de ração bovina, portanto, configura-se como um elo estratégico da cadeia agroindustrial, exigindo infraestrutura adequada, padronização de processos e controle sanitário rigoroso.

Em um cenário de crescente demanda por alimentos, restrições ambientais mais severas e necessidades de eficiência energética para mitigação de custos, torna-se essencial o desenvolvimento de soluções projetuais que integrem desempenho técnico, conformidade normativa e racionalização do uso de recursos. Galpões industriais voltados à produção de ração precisam atender a critérios específicos de funcionalidade, segurança, durabilidade e sustentabilidade, o que demanda uma abordagem multidisciplinar no desenvolvimento de seus projetos executivos.

Nesse contexto, este trabalho analisa as premissas necessárias para a elaboração de um projeto executivo de um galpão industrial destinado à fabricação de ração bovina a granel, com foco em eficiência energética e viabilidade técnica. A proposta considera desde a organização dos fluxos produtivos até a compatibilização entre sistemas arquitetônicos, estruturais e prediais, em conformidade com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), exigências sanitárias e boas práticas de fabricação.

A escolha do tema se justifica pela ausência de diretrizes consolidadas no Brasil voltadas especificamente à concepção de edificações industriais do setor de nutrição animal, assim como pela necessidade de propor soluções que reduzam o consumo energético, otimizem o desempenho operacional e atendam às crescentes exigências de sustentabilidade. Para embasar o desenvolvimento do projeto, foi realizada revisão bibliográfica técnica, análise normativa, levantamento de estratégias construtivas e análise climática do local proposto de implantação para estudo.

A partir dessa base, o trabalho busca contribuir para o aprimoramento de modelos arquitetônicos industriais energeticamente eficientes no setor agropecuário, fornecendo subsídios técnicos envolvidos no planejamento de empreendimentos cumprindo com as demandas técnicas e regulatórias.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver e analisar as premissas para um modelo de projeto executivo de galpão industrial para produção de ração bovina que equilibre a viabilidade econômica, sustentabilidade ambiental e eficiência energética, visando atender às exigências regulatórias e de mercado.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Analisar qual modelo de galpão industrial é necessário para a produção de ração bovina;
- Desenvolver as premissas de um projeto arquitetônico para o galpão industrial, levando em conta os requisitos funcionais e operacionais de uma planta de produção de ração bovina;
- Analisar as normas e regulamentos vigente relacionadas à construção, eficiência energética e sustentabilidade em projetos industriais;
- Selecionar materiais e tecnologias construtivas adequadas à tipologia do galpão, com foco na durabilidade, eficiência térmica e compatibilidade com os sistemas prediais propostos;
- Atender às exigências normativas técnicas e ambientais aplicáveis ao setor industrial de produção de ração, garantindo conformidade com a legislação sanitária, energética e de saneamento vigente no Brasil.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 PROJETO EXECUTIVO

O projeto executivo é a fase mais detalhada do processo de desenvolvimento de um empreendimento, sendo fundamental em áreas como construção civil, industrial ou de infraestrutura. Ele ocorre após as definições preliminares, anteprojetos e projetos básicos, contendo todas as informações necessárias para a execução física da obra. Isso inclui detalhes técnicos, quantitativos, especificações de materiais, cronogramas e desenhos construtivos. Dessa forma, o projeto executivo funciona como um guia que transforma ideias em realidade, servindo de base para a construção e montagem dos sistemas e estruturas envolvidas (GHIRARDELLI, 2015).

O projeto executivo é composto por uma série de documentos, como plantas, cortes, elevações, especificações técnicas, cálculos estruturais, hidráulicos, elétricos e outros, que variam conforme o tipo de projeto (MOREIRA; SOUZA, 2019). Podem-se citar várias razões que tornam a fase de elaboração do projeto executivo extremamente importante, dentre elas destacam-se:

1. **Precisão na Execução da Obra:** O projeto executivo fornece informações detalhadas e precisas para todos os envolvidos na obra, como engenheiros, arquitetos, técnicos e operários. Isso minimiza incertezas e interpretações ambíguas, facilitando a execução conforme os padrões desejados (CREMONESE, 2017).

2. **Redução de Erros e Retrabalho:** Um planejamento detalhado ajuda a identificar potenciais problemas de compatibilidade entre sistemas, evitando conflitos e modificações durante a construção. Dessa forma, há uma significativa redução de retrabalho, além da economia de tempo e recursos financeiros (GHIRARDELLI, 2015).

3. **Controle de Custos:** O detalhamento dos itens de construção permite um levantamento quantitativo preciso, possibilitando um orçamento mais confiável. Além disso, evita surpresas financeiras e aditivos durante a obra (GUIMARÃES, 2020).

4. **Cumprimento de Prazos:** O cronograma físico-financeiro, parte

essencial do projeto executivo, ajuda no cumprimento dos prazos estabelecidos. O detalhamento das etapas facilita a coordenação entre os profissionais, garantindo que as datas de entrega sejam respeitadas (MOREIRA; SOUZA, 2019).

5. Atendimento às Normas Técnicas: O projeto executivo garante que a obra siga todas as normas técnicas aplicáveis, seja em relação à segurança, eficiência energética, sustentabilidade, acessibilidade ou exigências legais (GHIRARDELLI, 2015). A conformidade com as normas, como a NBR 13531 (1995), assegura que a construção atenda aos requisitos de qualidade e segurança.

6. Planejamento de Manutenção: Além de guiar a construção, o projeto executivo serve como base para o planejamento da operação e manutenção da edificação. Ele fornece a documentação técnica necessária para conservação dos sistemas e para futuras reformas ou ampliações (GUIMARÃES, 2020).

2.1.1 Etapas De Um Projeto Executivo em Engenharia Civil

O projeto executivo em engenharia civil é composto por uma série de etapas fundamentais para garantir a execução eficiente e organizada de uma obra. Essas etapas devem seguir uma sequência lógica e técnica, assegurando que todas as partes envolvidas no processo de construção possuam informações precisas e completas para o desenvolvimento da obra, conforme estabelece a NBR 13531 (1995). A seguir, estão descritas as principais etapas de um projeto executivo.

2.1.1.1 Estudo preliminar

O estudo preliminar é a fase inicial em que se levantam as condições básicas do terreno, as necessidades do cliente e as exigências legais. Esse estudo visa definir o conceito geral do projeto, identificando viabilidades técnicas e econômicas (GHIRARDELLI, 2015). O estudo preliminar também verifica as restrições legais e urbanísticas que podem influenciar no desenvolvimento do projeto.

2.1.1.2 Anteprojeto ou projeto básico

No anteprojeto ou projeto básico, os elementos conceituais são aprofundados. É nesta etapa que se elaboram os primeiros desenhos e especificações técnicas das principais estruturas, além de cálculos preliminares de fundações e sistemas construtivos. O anteprojeto busca fornecer uma visão mais concreta da obra, permitindo ajustes iniciais e dando início ao processo de obtenção de licenças e aprovações junto aos órgãos competentes (GUIMARÃES, 2020).

2.1.1.3 Desenvolvimento dos projetos complementares

Após a aprovação do anteprojeto, inicia-se o desenvolvimento dos projetos complementares, que englobam as disciplinas de estrutura, instalações elétricas, hidráulicas, sanitárias, drenagem, entre outras. Nessa fase, os projetos são detalhados com especificações técnicas de materiais, dimensionamentos, e cálculos de sistemas, de forma a garantir a compatibilidade entre os diversos componentes da obra (MOREIRA; SOUZA, 2019). A coordenação entre as diversas áreas envolvidas é essencial para evitar conflitos na execução.

2.1.1.4 Projeto executivo

O projeto executivo propriamente dito é a fase em que todos os detalhes da obra são finalizados. Ele envolve a elaboração de plantas, cortes, elevações e detalhamentos construtivos em escala apropriada, juntamente com as especificações completas de materiais, mão de obra e equipamentos necessários para a execução da obra (CREMONESE, 2017). Esta fase inclui, ainda, o levantamento quantitativo dos materiais e serviços, que servirá de base para orçamentos e planejamentos financeiros.

2.1.1.5 Orçamento e cronograma

Com o projeto executivo em mãos, elabora-se o orçamento detalhado da obra, que inclui todos os custos associados aos materiais, mão de obra, equipamentos e serviços. Além disso, desenvolve-se o cronograma

físico-financeiro, que define os prazos para a realização de cada etapa da obra e sua respectiva previsão de custos ao longo do tempo (GUIMARÃES, 2020).

2.1.1.6 Compatibilização dos projetos

A compatibilização dos projetos é uma etapa crucial, na qual se verifica a coerência entre os diversos projetos complementares, como os de estrutura, elétrica, hidráulica e arquitetura. Através da compatibilização, evitam-se interferências entre sistemas, como tubulações passando por vigas ou conflitos entre pontos elétricos e hidráulicos (GHIRARDELLI, 2015). Essa fase é essencial para minimizar erros durante a execução.

2.1.1.7 Aprovação e licenciamento

Após a compatibilização, o projeto deve ser submetido aos órgãos competentes para obtenção de licenças e aprovações necessárias. Essa etapa inclui a obtenção do alvará de construção e outros documentos exigidos pela legislação local, como licenças ambientais e urbanísticas (MOREIRA; SOUZA, 2019).

2.1.1.8 Acompanhamento técnico e revisões

Durante a execução da obra, o acompanhamento técnico por parte dos projetistas é importante para garantir que o projeto esteja sendo seguido conforme o planejado. Eventuais ajustes e revisões podem ser necessários em função de condições imprevistas encontradas durante a obra (CREMONESE, 2017). A documentação técnica deve ser atualizada e mantida de acordo com as modificações.

2.1.2 Especificidades de Projetos Industriais

Os projetos industriais apresentam características próprias que os diferenciam de outros tipos de projetos, como os de edificações residenciais ou comerciais. Tais especificidades derivam da complexidade das instalações industriais, que envolvem não apenas questões construtivas, mas também

demandas específicas de processos produtivos, segurança, logística e normatizações técnicas. Estes exigem um planejamento cuidadoso e uma integração multidisciplinar para garantir que a planta atenda de forma eficiente às necessidades de produção, segurança e manutenção.

Uma das principais especificidades dos projetos industriais é o planejamento integrado. Diferentemente de construções convencionais, os projetos industriais precisam considerar desde o início a interação entre as diversas disciplinas, como estrutura, elétrica, hidráulica, automação, ventilação e logística de produção (GHIRARDELLI, 2015). A falta de integração pode levar a problemas sérios durante a execução, como incompatibilidades entre sistemas ou dificuldades na implementação de equipamentos essenciais para a operação da planta.

O layout deve ser otimizado para garantir a eficiência dos processos produtivos. Isso significa que o arranjo físico das máquinas, linhas de produção, áreas de estoque e circulação de pessoal e materiais deve ser cuidadosamente projetado para minimizar o tempo de deslocamento e o custo de operação (MOREIRA; SOUZA, 2019). Além disso, é importante considerar possíveis expansões futuras, deixando espaço para ampliação das instalações sem comprometer a produtividade.

Além disso, devem atender a um conjunto de normas técnicas e regulatórias que variam conforme o setor de atuação e a localização da planta. No Brasil, por exemplo, as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e as normas regulamentadoras do Ministério do Trabalho, como a NR-12, que trata da segurança no trabalho com máquinas e equipamentos, são essenciais para garantir a conformidade legal e a segurança dos trabalhadores (ABNT, 1995). Além disso, projetos industriais muitas vezes precisam considerar legislações ambientais rigorosas, especialmente em termos de emissão de poluentes e descarte de resíduos (GHIRARDELLI, 2015).

Outro aspecto fundamental nos projetos industriais é o dimensionamento de infraestruturas específicas, como redes de energia, sistemas de ventilação, sistemas de combate a incêndio, sistemas de automação industrial e tubulações de fluidos (GUIMARÃES, 2020). Esses sistemas precisam ser cuidadosamente projetados para garantir a segurança e a eficiência energética da planta, bem como a continuidade das operações sem interrupções inesperadas. Em muitos casos, o consumo de energia em indústrias é elevado, sendo essencial o uso

de soluções tecnológicas para eficiência energética.

Tem-se também que a segurança é um fator central, dada a complexidade das operações e o uso de máquinas de grande porte. Os projetos devem prever soluções que minimizem os riscos de acidentes, como sinalizações adequadas, corredores de circulação livres de obstáculos e saídas de emergência estrategicamente localizadas (CREMONESE, 2017). Além disso, a ergonomia deve ser considerada no projeto das áreas de trabalho, garantindo que os trabalhadores possam desempenhar suas funções de maneira eficiente e sem risco de lesões.

Precisa-se levar em conta também a manutenibilidade das instalações, ou seja, a facilidade com que os sistemas podem ser mantidos e reparados ao longo do tempo. Isso implica o uso de materiais duráveis e a previsão de áreas de fácil acesso para a manutenção de máquinas e equipamentos (GUIMARÃES, 2020). A durabilidade dos materiais e a facilidade de manutenção são essenciais para reduzir os custos operacionais e aumentar a vida útil das instalações.

2.2 CARACTERÍSTICAS DE GALPÕES INDUSTRIAIS

Os galpões industriais podem ser classificados em diversos tipos, de acordo com suas funcionalidades e o tipo de atividade que abrigam. Esses galpões são projetados para atender às necessidades específicas de armazenamento, produção ou logística de diferentes indústrias, o que determina as características de seu layout, materiais e estrutura.

Um dos tipos mais comuns são os galpões logísticos, destinados principalmente ao armazenamento e distribuição de mercadorias. Esses galpões são caracterizados por grandes áreas livres e cobertas, com pé-direito elevado para otimizar o armazenamento vertical. Além disso, eles são equipados com sistemas de docas para facilitar a carga e descarga de mercadorias, possibilitando um fluxo ágil de veículos e materiais. A funcionalidade desses galpões está diretamente relacionada à otimização da logística, permitindo a movimentação rápida e eficiente de produtos, muitas vezes em centros de distribuição que precisam abastecer diversas regiões (CREMONESE, 2017).

Outro tipo comum é o galpão de produção, que abriga linhas de montagem e operações industriais. Esses galpões são projetados para suportar

cargas pesadas e acomodar grandes maquinários, exigindo uma estrutura reforçada e com alta capacidade de resistência. Os galpões de produção também precisam de um layout funcional, com áreas dedicadas ao armazenamento temporário de insumos e produtos acabados, além de espaços reservados para controle de qualidade e manutenção de equipamentos (GHIRARDELLI, 2015). A funcionalidade desses galpões está diretamente ligada à eficiência do processo produtivo, sendo essencial garantir a circulação adequada de materiais e trabalhadores para evitar interrupções na produção.

Já os galpões modulares se destacam por sua flexibilidade de layout, que permite adaptações rápidas conforme as necessidades da empresa mudam. Esses galpões são especialmente úteis em indústrias que experimentam variações sazonais ou mudanças frequentes no tipo de produto fabricado ou armazenado. A funcionalidade dos galpões modulares está associada à capacidade de expansão ou reconfiguração sem a necessidade de grandes intervenções estruturais, o que os torna uma opção econômica e eficiente em termos de tempo (MOREIRA; SOUZA, 2019).

Outro tipo relevante são os galpões frigoríficos, que possuem características específicas para armazenar produtos que necessitam de controle rigoroso de temperatura, como alimentos e produtos farmacêuticos. Esses galpões utilizam materiais isolantes e sistemas de refrigeração avançados, de forma a manter as condições ideais para a conservação dos produtos, garantindo a qualidade e a segurança alimentar. Além disso, eles são projetados para permitir a movimentação rápida dos produtos, de forma a minimizar o tempo de exposição a temperaturas externas (GUIMARÃES, 2020).

Por fim, os galpões para armazenamento de produtos perigosos possuem especificidades relacionadas à segurança, devido à natureza dos materiais armazenados, como produtos químicos e inflamáveis. Esses galpões seguem normas rigorosas de segurança e controle ambiental, como sistemas de ventilação e proteção contra incêndios, além de áreas de contenção para prevenir vazamentos. A funcionalidade desses galpões está focada na segurança operacional e na conformidade com as regulamentações legais que visam proteger os trabalhadores e o meio ambiente (GHIRARDELLI, 2015).

2.3 A INDÚSTRIA PECUÁRIA NO BRASIL

A pecuária brasileira é um dos setores mais representativos da economia do país, desempenhando papel crucial na produção de alimentos, geração de empregos e exportação. A indústria pecuária no Brasil possui uma vasta extensão territorial adequada para a criação de gado, com pastagens naturais e áreas para o cultivo de forragens, favorecendo a produção de carne e leite. Com uma produção que ultrapassa 220 milhões de bovinos (IBGE, 2020), o Brasil se destaca como o maior produtor e exportador mundial de carne bovina, com um rebanho diversificado destinado à produção de carne (90%) e leite (10%) (ABIEC, 2021).

Em termos de participação no Produto Interno Bruto (PIB), o setor de pecuária representa cerca de 8% da economia brasileira, sendo responsável por uma expressiva parte das exportações agropecuárias. Em 2020, o Brasil exportou aproximadamente 2,5 milhões de toneladas de carne bovina, com receitas de US\$ 7,2 bilhões, consolidando-se como o maior exportador global de carne bovina, principalmente para países como China, Japão, União Europeia e Egito (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2020). Em 2021, o Brasil exportou carne bovina por um valor superior a US\$9 bilhões, consolidando-se como um dos maiores exportadores mundiais do setor.

O Brasil também possui um rebanho leiteiro de mais de 23 milhões de vacas, sendo um dos maiores produtores de leite do mundo. Além da produção de carne e leite, a pecuária brasileira se destaca na produção de rações, com várias indústrias fornecendo alimentos balanceados para gado de corte e leiteiro. O setor de rações também é impulsionado pela produção de matérias-primas internas, como soja, milho e farelos, que são amplamente utilizados nas formulações.

No que se refere à pecuária leiteira, o Brasil apresenta diversas regiões especializadas na produção de leite, destacando-se estados como Minas Gerais, São Paulo e Paraná. A produção leiteira no Brasil tem evoluído com a adoção de novas tecnologias de manejo e genética, o que tem levado a ganhos de produtividade.

O país, além de exportador, é também um dos maiores consumidores 25 internos de carne bovina, com um mercado interno robusto e crescente. O consumo per capita de carne bovina no Brasil foi estimado em 26,2 kg

por habitante em 2021 (ABIEC, 2021). A pecuária brasileira se beneficia de um clima tropical, que favorece o pastoreio durante todo o ano, e de vastas áreas de pastagens naturais e cultivadas. A utilização de tecnologias agrícolas, como o melhoramento genético e a introdução de sistemas de integração lavoura-pecuária, também tem contribuído para a sustentabilidade e competitividade do setor.

Com uma estrutura consolidada e alta competitividade, o Brasil tem sido um grande atrativo para investimentos e inovações na pecuária, com a produção de carne bovina sendo cada vez mais orientada para atender aos padrões internacionais de qualidade e sustentabilidade.

2.4 PROCESSO DE PRODUÇÃO DE RAÇÃO BOVINA

2.4.1 Etapas e Técnicas de Produção de Ração Bovina

A fabricação de ração bovina envolve diversas etapas e técnicas que buscam garantir a qualidade do produto final, atendendo tanto às exigências nutricionais dos animais quanto às normativas de segurança alimentar. O processo de produção de ração é altamente controlado, pois o balanceamento dos nutrientes e a qualidade dos ingredientes são fatores cruciais para garantir a saúde dos bovinos e a eficiência na produção pecuária. As etapas fundamentais no processo de fabricação de ração bovina incluem a seleção e recepção de matérias-primas, a moagem, a mistura, a peletização e o armazenamento.

A primeira etapa do processo é a seleção e recepção das matérias-primas. A qualidade das matérias-primas, como milho, farelo de soja, sorgo, minerais e vitaminas, é essencial para garantir que a ração final atenda às exigências nutricionais dos bovinos (SILVA; PIRES, 2017). Ao chegarem à fábrica, as matérias-primas são analisadas em termos de qualidade e contaminações. Testes laboratoriais, como a avaliação de umidade e a presença de micotoxinas, são realizados para assegurar que os ingredientes estejam dentro dos padrões aceitáveis.

Em seguida, ocorre a moagem dos ingredientes, um processo que visa reduzir o tamanho das partículas, facilitando a digestão dos nutrientes pelos animais. A moagem precisa ser bem controlada, pois partículas muito finas podem

causar problemas digestivos nos bovinos, enquanto partículas muito grandes podem diminuir a eficiência alimentar (SANTOS et al., 2018). O uso de moinhos de martelos ou rolos é comum nessa etapa, e o grau de moagem varia conforme o tipo de ração e a categoria animal a que se destina.

A mistura é a etapa em que os ingredientes moídos são combinados de forma homogênea para formar a base da ração. O objetivo dessa etapa é garantir que todos os nutrientes sejam distribuídos uniformemente na mistura, de modo que cada porção de ração oferecida aos animais contenha a quantidade exata de nutrientes prevista na formulação (PEREIRA; LOPES, 2019). A eficiência da mistura depende da qualidade dos equipamentos e do tempo de processamento. Misturadores horizontais ou verticais são amplamente utilizados nessa fase para assegurar homogeneidade.

A peletização é uma técnica utilizada para compactar a mistura de ração em pellets, o que melhora a palatabilidade e facilita o armazenamento e o transporte do produto final. Durante a peletização, a mistura é submetida a altas temperaturas e pressão, o que também contribui para a destruição de microrganismos patogênicos e para o aumento da digestibilidade de alguns ingredientes (MARTINS; OLIVEIRA, 2020). Esse processo é especialmente importante na produção de rações para bovinos em confinamento, onde a eficiência alimentar é maximizada.

Por fim, a ração é submetida ao resfriamento e, posteriormente, ao armazenamento. O resfriamento é uma etapa crítica após a peletização, pois evita que os pellets sofram condensação de umidade, o que poderia levar ao desenvolvimento de fungos. Uma vez resfriada, a ração é armazenada em silos ou ensacada, devendo ser mantida em locais secos e arejados para garantir a preservação de suas propriedades nutricionais até o momento do consumo (SANTOS et al., 2018).

Essas etapas do processo de fabricação de ração bovina são acompanhadas por rigorosos controles de qualidade, que visam garantir a segurança alimentar e a eficiência produtiva. Além disso, o uso de tecnologias de automação tem se tornado cada vez mais comum nas fábricas de ração, permitindo maior precisão na dosagem dos ingredientes e controle dos parâmetros de produção, como temperatura e tempo de mistura (MARTINS; OLIVEIRA, 2020). Dessa forma, as técnicas utilizadas no processo de fabricação de ração contribuem

para a produção de alimentos balanceados, otimizando o desempenho animal e garantindo a sustentabilidade da pecuária.

2.4.2 Equipamentos e Maquinários Necessários

Os equipamentos e maquinários necessários para galpões industriais de produção de ração bovina desempenham um papel crucial na eficiência e qualidade do processo produtivo. Esses equipamentos são projetados para otimizar a produção em larga escala, garantir a segurança alimentar e reduzir custos operacionais. O galpão industrial deve ser equipado com tecnologia adequada para realizar etapas fundamentais como a recepção, armazenagem, dosagem, mistura, peletização, resfriamento e ensacamento da ração.

A primeira etapa do processo, que envolve a recepção e armazenagem das matérias-primas, requer silos e sistemas de transporte. Silos verticais ou horizontais são utilizados para armazenar grãos, farelo de soja, milho e outros ingredientes. Esses silos são geralmente fabricados em aço galvanizado para resistir às intempéries e evitar contaminações. Além disso, o uso de sistemas de transporte como elevadores de canecas e transportadores helicoidais permite a movimentação eficiente das matérias-primas dentro da fábrica (MARTINS; OLIVEIRA, 2020). A armazenagem adequada é essencial para preservar a qualidade dos insumos e evitar o desenvolvimento de fungos ou pragas.

Na fase de moagem, moinhos de martelo são amplamente utilizados para reduzir o tamanho das partículas dos ingredientes, facilitando a mistura e melhorando a digestibilidade da ração. Esses moinhos são projetados para operar de forma contínua, com alta capacidade de produção, e possuem sistemas de peneiramento para garantir que o tamanho das partículas atenda às especificações necessárias (SANTOS et al., 2018). A escolha do moinho adequado depende do tipo de ração a ser produzida e da granulometria desejada.

Após a moagem, a mistura dos ingredientes é realizada em misturadores industriais, que podem ser horizontais ou verticais. Os misturadores são projetados para garantir a homogeneização completa dos ingredientes, assegurando que cada porção de ração contenha a mesma quantidade de nutrientes. Equipamentos como os misturadores de fita ou paletas são amplamente utilizados devido à sua eficiência na mistura de ingredientes secos e líquidos,

permitindo a incorporação de aditivos e óleos, se necessário (PEREIRA; LOPES, 2019). A precisão e o tempo de mistura são fundamentais para garantir a uniformidade da ração e evitar segregação de ingredientes.

Outro equipamento essencial é a peletizadora, utilizada para transformar a mistura de ração em pellets. A peletizadora utiliza pressão e calor para compactar a ração, resultando em pellets que facilitam o armazenamento e o consumo pelos animais. A peletização também melhora a digestibilidade dos nutrientes e destrói microrganismos patogênicos, tornando a ração mais segura para os bovinos (MARTINS; OLIVEIRA, 2020). As peletizadoras podem ser equipadas com matrizes de diferentes diâmetros, conforme o tamanho dos pellets desejado.

Após a peletização, a ração passa por um processo de resfriamento para reduzir a temperatura e a umidade dos pellets, garantindo que o produto final tenha maior durabilidade e qualidade. O equipamento de resfriamento geralmente utilizado é o resfriador contrafluxo, que reduz a temperatura da ração de maneira gradual e uniforme, preservando a integridade dos pellets (SANTOS et al., 2018). O controle adequado dessa etapa é crucial para evitar que os pellets se quebrem ou se deteriorem durante o armazenamento.

Por fim, a ração é enviada para a etapa de ensacamento, onde máquinas automáticas de pesagem e empacotamento são utilizadas para embalar o produto final em sacos de tamanhos variados, de acordo com a demanda do mercado. Essas máquinas garantem precisão na pesagem e rapidez no processo, além de facilitar o manuseio e a distribuição da ração (PEREIRA; LOPES, 2019).

Além desses equipamentos principais, o galpão industrial deve contar com sistemas de automação e controle de qualidade, que permitem o monitoramento contínuo de todas as etapas do processo de produção. A automação aumenta a precisão na dosagem de ingredientes, controle de temperatura e umidade, além de reduzir a mão de obra necessária, aumentando a eficiência operacional e garantindo a rastreabilidade da produção (MARTINS; OLIVEIRA, 2020).

2.4.3 Exigências Sanitárias e de Qualidade no Setor de Ração Animal.

As exigências sanitárias e de qualidade no setor de ração para bovinos no Brasil são regulamentadas principalmente pelo Ministério da Agricultura,

Pecuária e Abastecimento (MAPA), por meio da Coordenação de Fiscalização de Produtos para Alimentação Animal (CGPA). Essas regulamentações visam garantir a segurança alimentar, a saúde animal e pública, e a preservação ambiental no processo produtivo (MAPA, 2021).

Uma das exigências centrais é o cumprimento das Boas Práticas de Fabricação (BPF) e da Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC), conforme estabelecido na Instrução Normativa MAPA nº 4/2007. Essas práticas são obrigatórias para as fábricas de ração e têm como objetivo minimizar riscos de contaminação física, química ou biológica durante a produção, assegurando que os produtos sejam seguros tanto para os animais quanto para os consumidores humanos (MAPA, 2007).

O controle das matérias-primas é igualmente rigoroso. Os fabricantes devem realizar testes laboratoriais periódicos, especialmente para detectar micotoxinas como as aflatoxinas, que podem comprometer a saúde dos animais e a qualidade do leite e da carne. A Instrução Normativa nº 88/2021 determina os limites máximos tolerados para contaminantes em produtos destinados à alimentação animal, exigindo um rígido controle de qualidade na seleção de ingredientes como milho, soja e subprodutos (MAPA, 2021).

No que diz respeito ao uso de aditivos e medicamentos, o Brasil possui legislação que proíbe ou restringe o uso de antibióticos como promotores de crescimento, em conformidade com recomendações da Organização Mundial da Saúde (OMS) e da Organização Mundial da Saúde Animal (OMSA). Segundo a IN MAPA nº 65/2020, apenas aditivos autorizados podem ser utilizados, e o uso de substâncias com ação antimicrobiana requer prescrição veterinária, com registro e controle rigoroso de resíduos (MAPA, 2020). Essa medida busca prevenir a resistência antimicrobiana e garantir a segurança dos produtos de origem animal.

A rotulagem e a rastreabilidade dos produtos também são obrigatórias. A IN MAPA nº 101/2020 estabelece critérios de identificação nutricional, composição, validade e lote das rações. Os fabricantes devem manter registros que permitam rastrear desde a origem das matérias-primas até a distribuição do produto final, de modo a possibilitar ações rápidas em caso de desvios sanitários (MAPA, 2020).

O armazenamento e transporte da ração devem seguir critérios de controle de higiene, temperatura e umidade, a fim de evitar contaminações cruzadas

e a deterioração dos produtos. A IN MAPA nº 65/2020 determina que as instalações sejam mantidas em condições sanitárias adequadas e que os veículos de transporte sejam limpos, protegidos contra intempéries e livres de resíduos de produtos anteriores (MAPA, 2020). Esses cuidados são essenciais para manter a integridade da ração até o ponto de consumo.

2.4.4 Sustentabilidade e Eficiência Energética

Os princípios de sustentabilidade aplicados a projetos industriais visam reduzir os impactos ambientais, otimizar o uso de recursos naturais e promover uma operação eficiente e responsável. Nos últimos anos, o conceito de sustentabilidade passou a ser uma diretriz central no desenvolvimento de novos projetos industriais, especialmente em setores intensivos no uso de energia e recursos, como a produção de ração bovina. De acordo com Almeida (2021), a sustentabilidade em projetos industriais é fundamentada em três pilares: ambiental, econômico e social, buscando o equilíbrio entre a redução de resíduos, o uso consciente de energia e água, e o bem-estar dos trabalhadores.

No contexto de projetos industriais para produção de ração bovina, um dos principais focos é a eficiência no uso de recursos. Isso inclui tanto a gestão de resíduos e a reciclagem de materiais como o uso racional de água e energia. Conforme estudos de Lima e Freitas (2019), práticas como a captura e o reuso de água no processo produtivo, a compostagem de resíduos orgânicos e a adoção de tecnologias de baixo consumo energético são essenciais para minimizar o impacto ambiental e reduzir custos operacionais. A implementação de sistemas de gestão ambiental, como a ISO 14001, também é recomendada para assegurar o cumprimento de normativas ambientais e a busca por melhorias contínuas no processo produtivo (ISO, 2015).

A eficiência energética é outro aspecto crucial dentro dos projetos sustentáveis. O uso de tecnologias para eficiência energética em galpões de produção de ração bovina contribui diretamente para a redução do consumo de energia e para o aumento da competitividade do empreendimento. Tecnologias como sistemas de iluminação natural, isolamento térmico adequado, e a utilização de fontes de energia renováveis são amplamente recomendadas. Um exemplo é a

instalação de painéis solares fotovoltaicos em telhados de galpões, que pode suprir grande parte da demanda energética das fábricas de ração, contribuindo para a redução de emissões de gases de efeito estufa (Silva et al., 2020).

Outra inovação importante para a eficiência energética em galpões industriais é o uso de sistemas de ventilação natural e mecânica eficiente. Esses sistemas promovem a circulação de ar de maneira a reduzir a necessidade de sistemas de climatização artificial, que consomem grandes quantidades de energia. De acordo com Mendes e Oliveira (2018), a ventilação adequada também melhora as condições de trabalho dentro dos galpões, além de manter as matérias-primas e os produtos finais em condições ideais de armazenamento, reduzindo desperdícios.

A utilização de sistemas de automação e controle de processos é outra estratégia que contribui para a eficiência energética. A automação permite o monitoramento constante do consumo de energia e a otimização de processos, ajustando o uso de maquinário e iluminação conforme a demanda real de produção. Além disso, sensores e dispositivos inteligentes podem detectar falhas e ineficiências, corrigindo problemas antes que estes resultem em perdas significativas de energia ou matéria-prima (Almeida, 2021).

2.5 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS

As normas brasileiras aplicáveis à construção e operação de galpões industriais e à produção de ração bovina incluem uma série de diretrizes e regulamentações que visam garantir a qualidade, segurança e sustentabilidade do empreendimento. A regulamentação é feita por órgãos nacionais, como o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e os órgãos ambientais estaduais e municipais, que estabelecem normas para a produção de alimentos para animais, garantindo o cumprimento dos padrões sanitários e de qualidade.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) estabelece documentos normativos fundamentais para projetos de galpões industriais. Por exemplo, a NBR 16229:2013 define os requisitos de boas práticas de fabricação (BPF) para alimentos destinados a animais, garantindo controle de higiene, rastreabilidade e segurança alimentar (ABNT, 2013). Também é relevante a NBR 10152:1987, que trata de níveis de ruído aceitáveis em ambientes industriais,

visando o conforto acústico e a saúde ocupacional dos trabalhadores (ABNT, 1987).

A adoção de normas internacionais também é comum em empreendimentos brasileiros, com destaque para a ISO 22000:2018, que trata de sistemas de gestão de segurança de alimentos, incluindo a produção de ração animal, estabelecendo diretrizes para controle de perigos alimentares em todas as etapas do processo produtivo (ISO, 2018). Já a ISO 14001:2015 é aplicada para assegurar práticas sustentáveis e controle ambiental, incluindo o gerenciamento de resíduos e a eficiência no uso de recursos naturais (ISO, 2015).

As normas de segurança e higiene no trabalho são igualmente fundamentais. A Norma Regulamentadora NR-18, por exemplo, estabelece condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção, sendo obrigatória na fase de edificação dos galpões (BRASIL, 2015). Já a ISO 45001:2018 especifica requisitos para um sistema de gestão de saúde e segurança ocupacional, com foco na prevenção de acidentes e doenças ocupacionais (ISO, 2018).

No que diz respeito à construção estrutural de galpões industriais, a NBR 8800:2008 orienta o projeto e execução de estruturas de aço e mistas de aço e concreto, fornecendo critérios para o dimensionamento de elementos estruturais metálicos (ABNT, 2008). Complementando essa norma, a NBR 6118:2023 trata do projeto de estruturas de concreto armado, incluindo critérios para segurança, durabilidade e dimensionamento de elementos em concreto (ABNT, 2023). Para o correto dimensionamento das cargas, a NBR 6120:2019 especifica as ações permanentes e variáveis sobre as estruturas, como peso próprio, equipamentos e efeitos do vento (ABNT, 2019).

Essas regulamentações garantem que as instalações industriais estejam em conformidade com padrões técnicos, ambientais e de segurança do trabalho, contribuindo para a qualidade da produção e a competitividade do setor de nutrição animal.

3. METODOLOGIA

A metodologia adotada neste trabalho fundamenta-se na definição das premissas técnicas e normativas necessárias para a elaboração de um projeto executivo completo de um galpão industrial destinado à produção de ração bovina a granel, com ênfase em eficiência energética, compatibilidade construtiva, viabilidade técnico-econômica e conformidade com as legislações vigentes.

Quanto aos fins, trata-se de uma pesquisa exploratória, voltada à compreensão das melhores práticas de projeto aplicáveis a edificações industriais no contexto agroindustrial. Inicialmente, realizou-se um levantamento teórico sobre o processo produtivo da ração bovina, a partir de revisão bibliográfica de dissertações e trabalhos técnicos relacionados ao setor de nutrição animal. Essa etapa foi complementada por uma visita técnica à fábrica Trociuk, referência na produção de ração no Paraguai, com o objetivo de compreender, in loco, a organização dos fluxos operacionais, equipamentos industriais e exigências funcionais do layout.

A partir desse levantamento, procedeu-se à análise normativa e técnica para a concepção arquitetônica do galpão, com base nas diretrizes estabelecidas pelas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Foram investigadas estratégias de climatização passiva e soluções construtivas otimizadas para o desempenho térmico e operacional da edificação. Para embasar essas decisões, foi utilizado o software Climate Consultant 6.0, que permitiu interpretar as condições climáticas da cidade de São Paulo, local considerado como referência para a implantação do projeto, e propor estratégias arquitetônicas energeticamente eficientes.

Além disso, a pesquisa possui caráter aplicado, uma vez que busca responder a uma demanda real por meio da proposição de soluções técnico-projetuais viáveis e replicáveis, alinhadas com os princípios da sustentabilidade e da eficiência energética.

Quanto aos meios, classifica-se como uma pesquisa qualitativa e documental, fundamentada na análise de normas técnicas (ABNT e ISO), legislações nacionais, dados climáticos regionais e literatura técnica especializada. Foram empregados métodos de análise técnica, modelagem arquitetônica e estudo normativo, visando à definição dos parâmetros de projeto para sistemas estruturais, instalações elétricas, hidrossanitárias e estratégias ambientais, adequadas à realidade de uma planta

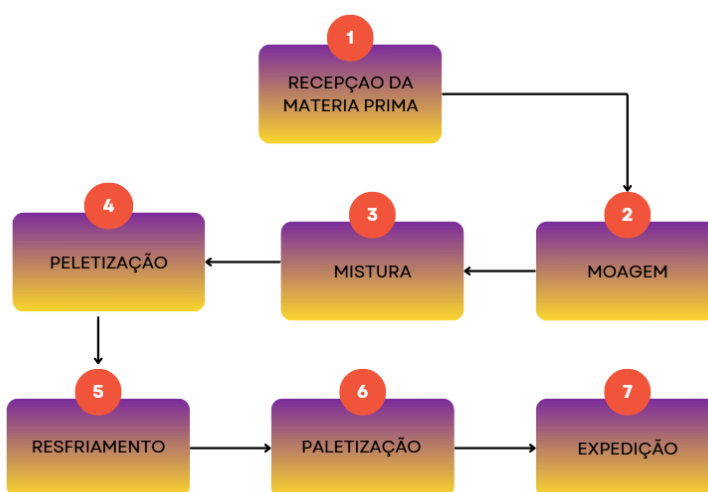
industrial voltada à produção agropecuária.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 LINHA DE PRODUÇÃO E MODELO ARQUITETÔNICO

Neste tópico descreve-se quais premissas são necessárias para cada área das instalações do modelo arquitetônico do galpão industrial de produção de ração bovina, seguindo a linha de produção conforme indicado no fluxograma 1 abaixo.

Fluxograma 1 - Etapas da produção de ração a granel.



Fonte: Autora, 2025.

4.1.1 Área de Recepção

A área de recepção de matéria-prima constitui a etapa inicial do processo industrial de produção de ração bovina e deve ser projetada com foco na fluidez logística, facilidade de higienização, controle de contaminações e durabilidade estrutural. Essa área é destinada ao recebimento e descarga de insumos sólidos a granel ou ensacados, como milho, farelo de soja, núcleos vitamínicos e minerais, e deve ser dimensionada de acordo com a capacidade operacional da planta.

O piso deve ser executado em concreto armado com acabamento polido, resistência mínima de $f_{ck} = 30$ MPa, valor que garante maior capacidade de suporte às cargas dinâmicas e concentradas geradas por veículos pesados e

empilhadeiras, conforme recomendações técnicas da ABNT NBR 6118:2023 e da prática usual em pisos industriais pesados. O concreto com esse nível de resistência apresenta menor porosidade, maior resistência à abrasão e menor susceptibilidade ao trincamento, além de ser compatível com acabamentos industriais como endurecedores superficiais e revestimentos epóxi, que aumentam sua vida útil e facilitam a higienização. A espessura deve ser dimensionada conforme o tráfego previsto de veículos pesados (caminhões e empilhadeiras), normalmente entre 15 e 20 cm, com malha de aço e juntas de dilatação. Recomenda-se a aplicação de endurecedor de superfície à base de quartzo ou metálico, visando maior resistência à abrasão.

A superfície deve possuir declividade mínima de 1% em direção a canaletas laterais ou centrais de drenagem, que devem ser revestidas com grelhas metálicas removíveis e conectadas ao sistema de águas industriais. O piso deve ser antiderrapante, resistente a produtos químicos (como desinfetantes alcalinos) e com acabamento que facilite a lavagem e a coleta de resíduos.

A área deve permitir limpeza úmida sob pressão, com pontos de abastecimento de água estrategicamente distribuídos, válvulas de escoamento e ralos sifonados em aço inoxidável, com sistema de contenção de resíduos sólidos. Devem ser adotados dispositivos de barreiras sanitárias físicas, como muretas ou antecâmaras entre áreas externas e internas, evitando a entrada de vetores.

Deve-se prever a instalação de lavadores de rodas para caminhões na entrada e pedilúvios sanitários para acesso de funcionários. As paredes, quando fechadas, devem possuir revestimento em pintura epóxi lavável ou placas de PVC industrial até 2 metros de altura, em conformidade com as Boas Práticas de Fabricação (BPF) da ABNT NBR 16229:2013.

A recepção deve ser coberta por estrutura metálica com telha termoacústica tipo sanduíche (PU ou EPS), com pé-direito mínimo de 6 a 8 metros, permitindo ventilação natural, iluminação zenital e a manobra de caminhões basculantes. Devem ser previstas aberturas laterais com venezianas industriais em PVC ou metálicas, além de lanternins superiores, favorecendo o conforto térmico e a dissipação de partículas em suspensão. Os pontos de descarga devem incluir moegas metálicas embutidas no piso, com grelhas e funis conectados a transportadores de correia ou elevadores de caneca, e dispor de sistemas de exaustão e cortinas de ar para controle de pó em suspensão. Próximo à moega,

deve haver um sistema de peneiração grossa (pré-limpeza) e separador magnético, para retenção de impurezas e metais que possam danificar os equipamentos subsequentes. A área deve contar ainda com lavadores de pneus na entrada, barreira sanitária, pontos de água pressurizada e ar comprimido, além de sistema de drenagem de alta vazão com caixas de areia e caixas de inspeção para facilitar a manutenção.

Os principais equipamentos previstos para essa área incluem:

- Moega de recepção com grelha metálica de proteção, construída em alvenaria ou aço galvanizado, ligada ao sistema de transporte (correias ou elevadores de caneca);
- Descarregadores telescópicos de granel para facilitar a operação com caminhões;
- Esteiras transportadoras, de preferência com proteção contra poeiras (dust cover);
- Exaustores e ciclones de retenção de particulados para controle ambiental;
- Detector de metais e separadores magnéticos, instalados na linha de recepção, para controle de contaminantes físicos;
- Sistema de pesagem e amostragem, com balança rodoviária ou de plataforma, e dispositivos para coleta representativa de amostras;
- Painel de controle e automação industrial, com sensores de fluxo e dispositivos de parada de emergência.

4.1.2 Área de Moagem

A área de moagem de matéria-prima é um setor essencial no processo industrial de produção de ração bovina, sendo responsável pela padronização granulométrica dos insumos, condição indispensável para garantir a homogeneidade da mistura e a eficiência zootécnica do produto final. Para a implantação dessa etapa em um galpão industrial, recomenda-se a setorização física e funcional do ambiente, com isolamento em relação a outras áreas para controle de ruído e dispersão de particulados. O piso da moagem deve ser executado em concreto armado com resistência característica mínima à compressão de $f_{ck} = 25$ MPa, conforme diretrizes da ABNT NBR 6118:2023, que estabelece esse

valor como adequado para ambientes com exposição moderada a agressiva. Essa resistência é necessária devido à presença de cargas pontuais elevadas, vibrações geradas por moinhos e transportadores, além do tráfego constante de equipamentos de movimentação de carga, como carrinhos industriais e empilhadeiras. O concreto com $f_{ck} \geq 25$ MPa garante não apenas resistência mecânica e estrutural, mas também maior durabilidade, menor porosidade e maior aderência a acabamentos superficiais como o revestimento epóxi, frequentemente aplicado nesses ambientes industriais. Deve ser adotado acabamento polido com endurecedor de superfície mineral ou metálico e inclinação mínima de 1% direcionada a ralos lineares com grelhas metálicas e caixa de inspeção sifonada, para facilitar a limpeza por lavagens pressurizadas.

As paredes devem ser revestidas até 2 metros de altura com cerâmica industrial lavável ou pintura epóxi, e o forro deve contar com isolamento termoacústico e tratamento superficial lavável, preferencialmente com telhas metálicas termoacústicas tipo sanduíche. A ventilação do ambiente deve ser promovida por exaustores axiais, venezianas metálicas e lanternins superiores, dimensionados para o controle térmico e remoção de partículas suspensas no ar. A iluminação natural deve ser priorizada com aberturas translúcidas protegidas, complementadas por luminárias herméticas com grau de proteção IP65.

Os principais equipamentos instalados nessa área incluem moinhos de martelo de alta rotação, dotados de peneiras intercambiáveis e sensores de vibração e temperatura para segurança operacional, além de silos pulmão para alimentação contínua. Os insumos são transportados por elevadores de caneca ou roscas transportadoras, devendo ser previamente submetidos à separação magnética por meio de ímãs e separadores de metais para proteção dos moinhos. Após a moagem, os materiais seguem por linhas fechadas para filtros de manga ou ciclones, responsáveis pela retenção de finos e melhoria das condições ambientais e de segurança. O produto moído é armazenado temporariamente em silos ou enviado diretamente à linha de mistura, conforme o layout da planta. Coletores de amostras automatizados devem ser previstos na linha de saída para controle de qualidade e monitoramento granulométrico. A higienização do ambiente deve seguir protocolos de limpeza seca diária (com aspiradores industriais ou sopradores) e limpeza úmida semanal com detergente alcalino e enxágue pressurizado, sendo todos os equipamentos instalados com recuo técnico mínimo para permitir acesso à

manutenção e limpeza.

O fluxo operacional da moagem inicia-se com a entrada dos ingredientes provenientes dos silos de armazenagem ou moegas, passando por um sistema de pré-limpeza e separação de corpos estranhos. Em seguida, os insumos são dosados e alimentados aos moinhos de martelo, onde ocorre a moagem propriamente dita. O produto moído é transportado por linhas pneumáticas ou mecânicas até sistemas de despoeiramento, armazenado em silos pulmão e, posteriormente, transferido à área de mistura ou acondicionamento. Todo o sistema deve ser automatizado por meio de painéis de controle, com sensores de fluxo, temperatura e paradas de emergência, garantindo segurança, rastreabilidade e eficiência energética.

4.1.3 Área de Mistura

A área de mistura em um galpão industrial de produção de ração bovina a granel deve ser projetada para garantir a precisão na homogeneização dos ingredientes sólidos e líquidos que compõem as formulações. Trata-se de uma etapa que demanda alto controle técnico e sanitário, com ambientes bem delimitados e livre de interferências externas. O espaço deve ser fechado, com controle de partículas em suspensão, baixa umidade e mínima variação térmica, para preservar a estabilidade físico-química dos ingredientes e garantir a uniformidade do produto final.

O piso deve ser executado em concreto armado com resistência mínima de $f_{ck} = 30$ MPa, conforme a ABNT NBR 6118:2023, para suportar cargas concentradas de equipamentos como misturadores de grande porte e silos de pesagem, além de resistir a ciclos de vibração e impactos mecânicos. Sobre o concreto, aplica-se revestimento epóxi com propriedades antipoeira e antichama, que facilita a limpeza e impede a penetração de partículas. O caimento do piso deve ser de no mínimo 1%, direcionado para drenos industriais com caixas de inspeção fechadas, que permitam higienização sem risco de refluxo ou contaminação.

O layout da área deve prever a instalação de um misturador de eixo horizontal ou vertical, com controle automatizado por CLP (Controlador Lógico Programável) que gerencie o tempo de operação, sequência de alimentação e proporções de cada ingrediente. Os sistemas de dosagem devem ser integrados a

silos intermediários, com células de carga ou dosadores volumétricos, e linhas separadas para adição de líquidos como óleo vegetal ou aditivos palatáveis. A formulação precisa ser rastreável em tempo real, com sensores de temperatura e umidade no ponto de descarga, e registros automáticos por lote.

Do ponto de vista energético, a operação da área de mistura caracteriza-se por ciclos intermitentes, com demandas variáveis ao longo do turno. Essa característica permite a adoção de estratégias de controle inteligente, como o escalonamento de partidas e o acionamento sob demanda, reduzindo picos de carga na rede elétrica interna e melhorando o fator de potência da instalação. Para garantir maior eficiência no acionamento dos equipamentos principais, como os misturadores e dosadores automáticos, especificam-se motores elétricos de alto rendimento classificados como IE3 conforme a norma IEC 60034-30, que apresentam perdas reduzidas por efeito Joule e por ventilação, otimizando o uso de energia em regimes de carga parcial. Esses motores são combinados com inversores de frequência, que possibilitam variação precisa da velocidade de rotação e do torque, reduzindo o consumo durante partidas, evitando picos de corrente e prolongando a vida útil dos equipamentos.

Adicionalmente, a alimentação por gravidade entre silos, balanças dosadoras e misturadores é tecnicamente preferível, pois elimina a necessidade de sistemas mecânicos contínuos, como roscas transportadoras ou transportadores pneumáticos, que possuem alto consumo energético e requerem manutenção frequente. A gravidade, além de gratuita como força motriz, proporciona maior confiabilidade operacional e reduz significativamente o custo de operação ao longo da vida útil da planta. Dessa forma, o conjunto das soluções adotadas favorece um sistema de mistura com baixo consumo específico de energia (kWh/t), alta eficiência operacional e menores custos de manutenção, em conformidade com os princípios de engenharia sustentável e gestão energética industrial.

A iluminação artificial deve ser realizada por luminárias LED industriais com grau de proteção mínimo IP65, posicionadas de forma a eliminar sombras sobre os pontos de operação manual. A ventilação deve garantir troca de ar contínua com controle de pressão positiva e sistema de exaustão com filtragem de partículas, prevenindo a dispersão de pós finos e facilitando o controle sanitário.

Para a higienização, recomenda-se o uso de equipamentos com superfícies lisas, de fácil acesso e limpeza, evitando a formação de acúmulos de

ração ou poeira. O protocolo deve prever limpeza seca por aspiração industrial após cada turno e limpeza úmida periódica com detergentes neutros seguidos de enxágue pressurizado, com descarte direcionado para a rede de efluentes industriais tratada. Os pontos de inspeção devem estar previstos no projeto para facilitar a manutenção sem desmontagens complexas.

4.1.4 Área de Peletização e Armazenamento

O setor de peletização abriga o maquinário responsável pela compactação da mistura em forma de pellets, sendo necessária a instalação de peletizadoras, alimentadores automáticos e silos pulmão. Por se tratar de um processo que envolve calor e partículas em suspensão, o ambiente deve contar com ventilação eficiente, obtida por meio da combinação de exaustores axiais na cobertura e venezianas reguláveis nas fachadas. O pé-direito elevado favorece a dissipação do calor gerado, enquanto os fechamentos laterais em painéis metálicos termoacústicos contribuem para o isolamento térmico, reduzindo a transferência de calor para os setores adjacentes.

Na área de resfriamento, imediatamente posterior à peletização, é instalado o resfriador contrafluxo, que exige ventilação contínua e renovação constante do ar para garantir o resfriamento adequado dos pellets. Este ambiente deve ser livre de interferências visuais e estruturais que comprometam o fluxo ascendente do ar. A presença de lanternins metálicos na cobertura e venezianas de admissão nas fachadas permite a ventilação cruzada natural, diminuindo a carga térmica interna. O uso de iluminação natural difusa é incentivado, por meio de painéis translúcidos com proteção UV ou aberturas zenitais com controle de incidência, integrando a estratégia de eficiência energética da edificação.

Já a área de paletização, onde ocorre o ensacamento e organização dos produtos finais para estocagem ou expedição, deve ser ampla e permitir manobra eficiente de equipamentos como empilhadeiras, esteiras transportadoras e sistemas automáticos de ensaque. O layout deve prever a divisão entre zonas de ensacamento, armazenamento e expedição, com acessos dimensionados para operação logística contínua. As aberturas para docas devem dispor de portas rápidas ou cortinas de ar, a fim de minimizar perdas térmicas e manter a estabilidade ambiental interna.

4.1.5 Setor Administrativo e de Funcionários do Galpão

O setor administrativo e de funcionários compõem a parte complementar do galpão industrial, responsável por dar suporte às atividades produtivas e garantir as condições adequadas de conforto, higiene e organização aos colaboradores. Localiza-se em anexo à área fabril, com compartimentação física que permite o controle de acesso entre os setores produtivo e administrativo, evitando contaminações cruzadas e assegurando a separação entre ambientes de naturezas distintas.

A estrutura segue o mesmo sistema construtivo metálico do galpão, com fechamento independente e vedação térmica para melhor controle ambiental. O setor abriga ambientes como recepção, administração, sala de reuniões, vestiários, sanitários, copa e refeitório. Os ambientes internos apresentam acabamento em forro de PVC ou gesso acartonado, com piso cerâmico de alta resistência e fácil higienização. As paredes internas recebem pintura lavável, e os ambientes molhados utilizam revestimento cerâmico até o teto.

Os vestiários masculino e feminino atendem às diretrizes da NR-24, incluindo armários individuais, chuveiros com divisórias, lavatórios e bancos em alvenaria ou inox. O dimensionamento considera o número de funcionários por turno, e a circulação é organizada de forma a permitir o fluxo unidirecional de entrada e saída. O refeitório e a copa se encontram em área com ventilação natural e iluminação cruzada, com aberturas protegidas por telas e dispositivos de sombreamento, contribuindo para a redução da carga térmica interna.

No setor administrativo, as salas de trabalho e reunião utilizam divisórias leves e amplas aberturas envidraçadas para aproveitamento da iluminação natural, com controle de ofuscamento por meio de películas ou brises. O sistema de ventilação natural é complementado por climatização artificial, e as luminárias utilizadas são do tipo LED, com difusores e sensores de presença para otimização do consumo energético. As esquadrias são em alumínio, com vidros fixos ou basculantes, conforme a necessidade de ventilação e segurança.

Os sanitários contam com equipamentos de baixo consumo hídrico, como torneiras com temporizador, válvulas de descarga econômicas e iluminação com acionamento automático. As instalações seguem critérios de acessibilidade conforme a ABNT NBR 9050, com portas de largura adequada, barras de apoio,

lavatórios suspensos e áreas de giro compatíveis.

O layout do setor administrativo e de funcionários considera a ergonomia dos postos de trabalho, a organização dos fluxos internos, a setorização funcional e a eficiência energética do conjunto. Os acabamentos adotados priorizam a durabilidade, facilidade de manutenção e conforto ambiental, contribuindo para o bom desempenho operacional do galpão e para a qualidade do ambiente de trabalho dos usuários.

4.2 ESTRATÉGIAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA UTILIZADAS NO MODELO ARQUITETÔNICO

Para a análise das estratégias de eficiência energética propostas no presente trabalho, faz-se necessário considerar o local de implantação da indústria, uma vez que as condições climáticas influenciam diretamente no desempenho térmico e na viabilidade das soluções passivas adotadas. Tendo em vista a necessidade de contextualizar as estratégias projetuais em um cenário climático específico, adota-se, para fins de exemplificação e desenvolvimento técnico, a cidade de São Paulo como referência de localização.

4.2.1 Análise Climática da Cidade de São Paulo

A cidade está localizada no estado de São Paulo, Brasil, como apresentado na figura 1 abaixo, com coordenadas geográficas de latitude -23.5505 e longitude -46.6333. Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo Cfa, caracterizado como subtropical úmido. A precipitação ocorre de forma distribuída ao longo do ano, sem uma estação seca bem definida. A temperatura média anual varia em torno de 19 a 20 °C, enquanto a precipitação média anual é de aproximadamente 1.450 mm.

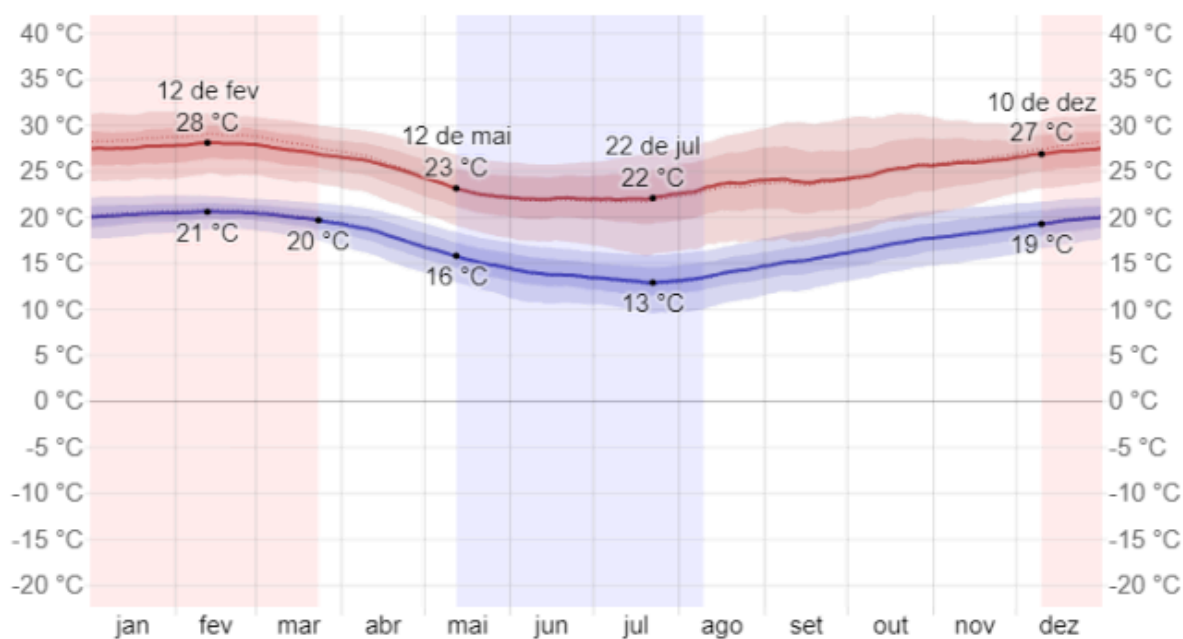
Figura 1 - Mapa da localização do estado de São Paulo, Brasil.



Fonte: Souza, Emmendoerfer, Knupp, 2017.

As temperaturas em São Paulo apresentam uma variação considerável ao longo do ano, como mostra-se na figura 2. Os verões são quentes com temperaturas máximas médias acima de 27°C, enquanto os invernos apresentam médias mínimas em torno de 12 - 14°C.

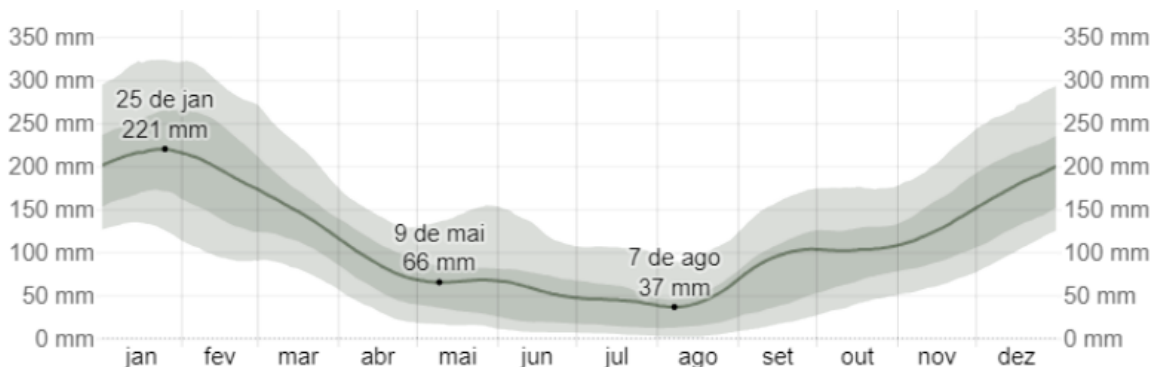
Figura 2 - Histórico de temperaturas em São Paulo em 2023.



Fonte: Weather Spark, 2024.

A cidade recebe chuva ao longo de todo o ano, com picos nos meses de verão (dezembro a fevereiro). Os meses mais secos são junho, julho e agosto (ver figura 3).

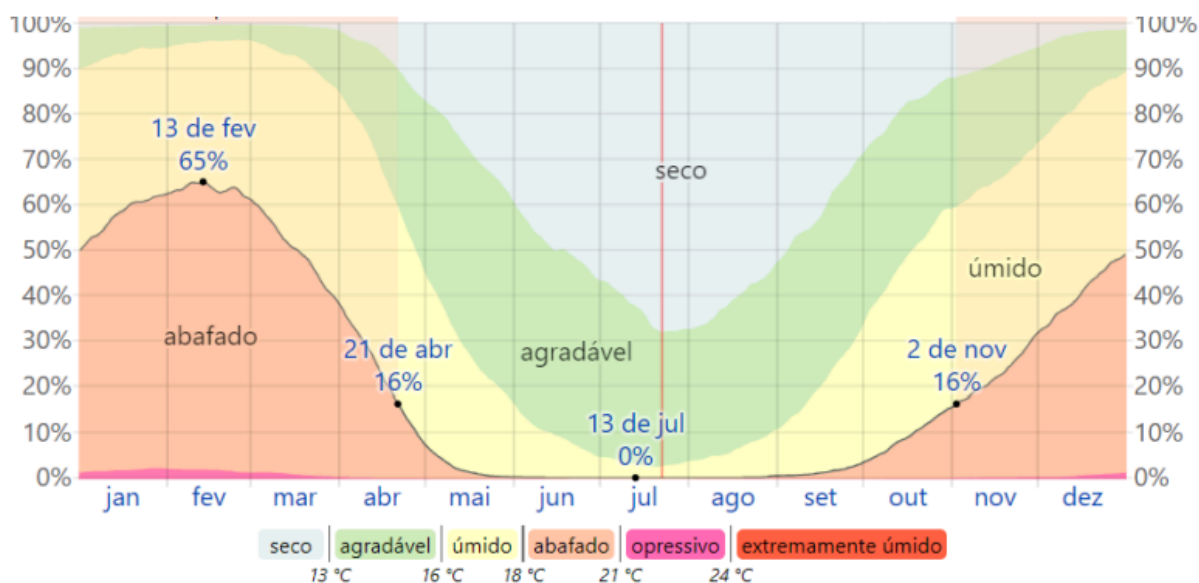
Figura 3 - Chuva mensal média em em São Paulo em 2023.



Fonte: Weather Spark, 2024.

A umidade do ar reflete a influência do clima subtropical úmido, mantendo-se variável, com predominância de uma alta umidade ao longo do ano (ver figura 4).

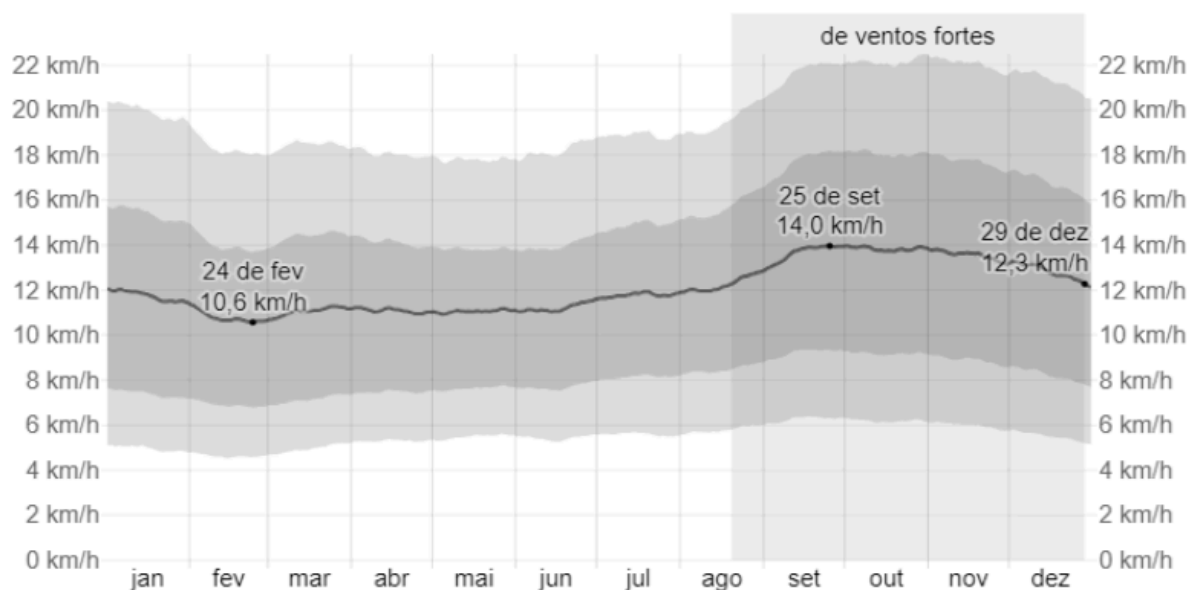
Figura 4 - Níveis de conforto em umidade em São Paulo.



Fonte: Weather Spark, 2024.

A velocidade média dos ventos varia pouco ao longo do ano, mantendo-se entre 2.7 m/s e 3.0 m/s (ver figura 5).

Figura 5 - Velocidade média do vento em São Paulo.



Fonte: Weather Spark, 2024.

4.2.2 Estratégias Adotadas

Embora não exista uma norma brasileira que estabeleça uma temperatura interna fixa obrigatória para galpões industriais destinados à produção de ração bovina a granel, diversas diretrizes técnicas e boas práticas normativas orientam os parâmetros adequados para garantir a conservação dos insumos, a segurança sanitária e o desempenho operacional da planta. Segundo orientações do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), as instalações devem ser projetadas de forma a evitar variações térmicas excessivas que comprometam a integridade da matéria-prima e do produto final, mantendo preferencialmente a temperatura interna em uma faixa entre 18 °C e 30 °C, com umidade relativa controlada abaixo de 70%. A norma ABNT NBR 16401-1:2008, que trata do projeto de instalações térmicas, recomenda para ambientes industriais sem exigência de conforto humano contínuo uma faixa operacional de temperatura entre 18 °C e 32 °C, considerando fatores como ventilação natural, carga térmica e características climáticas locais. Além disso, conforme diretrizes de segurança alimentar estabelecidas na ABNT NBR ISO 22000, é necessário que as áreas de produção e armazenamento apresentem condições ambientais compatíveis com a conservação

das rações, evitando temperaturas elevadas que favoreçam o crescimento de microrganismos ou a degradação de componentes nutricionais sensíveis. Dessa forma, recomenda-se que as áreas de produção e mistura operem entre 20 °C e 30 °C, enquanto as áreas de estocagem de ingredientes e produto final mantenham temperaturas inferiores a 30 °C, favorecendo a preservação da qualidade da ração e a estabilidade do ambiente fabril.

Através do software Climate Consultant 6.0, um software gratuito desenvolvido pela UCLA (University of California, Los Angeles) que interpreta dados climáticos locais para auxiliar no projeto arquitetônico e de engenharia com foco em eficiência energética, obteve-se a tabela 1 abaixo onde com base nos dados fornecidos evidencia condições compatíveis com a adoção de estratégias passivas de climatização em edificações industriais. A temperatura de bulbo seco varia entre 15 °C e 23 °C ao longo do ano, o que representa uma faixa térmica adequada para ambientes industriais que não requerem conforto térmico humano contínuo. No entanto, a umidade relativa média anual oscila entre 74% e 80%, ultrapassando o limite ideal recomendado para estocagem e manipulação de ração bovina, que é de até 70%, o que exige soluções passivas de ventilação e controle da umidade interna. A radiação solar global e direta é moderadamente elevada, com valores médios mensais entre 266 e 379 Wh/m²/h, favorecendo o aproveitamento da iluminação natural e estratégias de sombreamento controlado. A velocidade média dos ventos varia entre 1,8 e 2,3 m/s, suficiente para viabilizar a ventilação cruzada, e a direção predominante dos ventos — provenientes das direções leste, sudeste e nordeste — oferece base técnica para o posicionamento estratégico das aberturas. Esses dados, combinados com a temperatura média do solo (17 °C a 21 °C), indicam viabilidade para o uso de estratégias passivas de ventilação, sombreamento, iluminação e controle térmico sem a dependência exclusiva de sistemas artificiais.

Tabela 1 - Dados obtidos através do Climate Consultant 6.0

WEATHER DATA SUMMARY													LOCATION: São Paulo, SP, BRA	
													Latitude/Longitude: 23.85° South, 46.64° West, Time Zone from Greenwich -3	
													Data Source: INMET 837810 WMO Station Number, Elevation 792 m	
MONTHLY MEANS	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC		
Global Horiz Radiation (Avg Hourly)	301	372	357	309	304	266	364	304	337	336	371	379	Wh/sq.m	
Direct Normal Radiation (Avg Hourly)	93	135	140	101	103	79	133	108	125	130	133	151	Wh/sq.m	
Diffuse Radiation (Avg Hourly)	190	210	178	162	136	124	136	143	162	179	217	201	Wh/sq.m	
Global Horiz Radiation (Max Hourly)	1051	1010	1018	852	801	692	714	846	993	1077	1073	1098	Wh/sq.m	
Direct Normal Radiation (Max Hourly)	819	761	753	554	495	368	397	535	742	828	851	859	Wh/sq.m	
Diffuse Radiation (Max Hourly)	452	457	435	383	338	302	295	345	409	446	459	465	Wh/sq.m	
Global Horiz Radiation (Avg Daily Total)	4016	4783	4336	3537	3302	2807	3896	3424	3996	4238	4884	5097	Wh/sq.m	
Direct Normal Radiation (Avg Daily Total)	1253	1737	1708	1158	1115	836	1427	1219	1483	1644	1754	2038	Wh/sq.m	
Diffuse Radiation (Avg Daily Total)	2542	2699	2162	1862	1475	1318	1456	1609	1927	2267	2862	2715	Wh/sq.m	
Global Horiz Illumination (Avg Hourly)	32797	40218	38231	32931	31675	27472	37670	32100	35834	36264	40318	40951	lux	
Direct Normal Illumination (Avg Hourly)	9097	13110	13604	9746	9773	7455	12581	10397	12148	12708	12997	14872	lux	
Dry Bulb Temperature (Avg Monthly)	21	22	21	20	17	16	17	18	17	20	20	20	degrees C	
Dew Point Temperature (Avg Monthly)	16	17	16	15	11	11	9	11	11	14	14	15	degrees C	
Relative Humidity (Avg Monthly)	75	74	72	72	69	74	62	69	71	73	73	72	percent	
Wind Direction (Monthly Mode)	110	100	140	140	130	90	80	60	130	80	110	150	degrees	
Wind Speed (Avg Monthly)	2	2	2	1	2	1	1	1	2	2	2	2	m/s	
Ground Temperature (Avg Monthly of 3 Depths)	21	20	20	19	18	17	17	17	18	19	20	20	degrees C	

Fonte: Climate Consultant 6.0, 2025.

A ventilação cruzada natural se apresenta como uma das principais estratégias passivas para o galpão industrial, especialmente diante dos níveis elevados de umidade relativa observados ao longo do ano em São Paulo. Com velocidades médias de vento entre 1,8 e 2,3 m/s, é tecnicamente viável promover a renovação constante do ar interno por meio da instalação de aberturas opostas, posicionadas de forma a captar os ventos predominantes oriundos das direções leste, sudeste e nordeste. Essa estratégia permite reduzir a concentração de vapor d'água no ambiente, contribuindo para manter a umidade interna abaixo de 70%, além de auxiliar na dissipação de calor sensível gerado por equipamentos ou pela radiação solar incidente. A ventilação cruzada pode ser potencializada por venezianas reguláveis, permitindo o ajuste conforme a direção e intensidade dos ventos sazonais, garantindo melhor desempenho ambiental e sanitário.

A adoção de aberturas zenitais (ver figura 6), como shed roofs ou lanternins com venezianas superiores (ver figura 7), é altamente recomendada para o galpão industrial, considerando os níveis consistentes de radiação solar direta e

difusa ao longo do ano. Essas aberturas na cobertura permitem a entrada controlada de luz natural, reduzindo a demanda por iluminação artificial durante o período diurno, e ainda favorecem a ventilação por convecção, conhecida como efeito chaminé, que promove a extração do ar quente e úmido acumulado nas camadas superiores do galpão. Esse tipo de exaustão passiva é particularmente eficaz em ambientes com pé-direito elevado e temperatura interna moderada, como os galpões metálicos industriais, contribuindo diretamente para o controle térmico e higroscópico do ambiente, sem consumo energético adicional.

Figura 6 - Exemplo de iluminação zenital em indústria.



Fonte: (GRUPO MB, 2023).

Figura 7 - Exemplo de lanternim com veneziana superior em indústria.



Fonte: (FURTADO, 2024).

Com base na incidência solar observada, especialmente nos meses de verão (dezembro a março), o uso de dispositivos de sombreamento externo, como brises horizontais e beirais projetados, é essencial para minimizar o ganho térmico excessivo nas fachadas mais expostas à radiação direta. Essa estratégia evita o superaquecimento das superfícies internas e reduz a carga térmica no ambiente industrial, preservando a integridade dos insumos e o desempenho dos equipamentos sensíveis ao calor. Brises móveis permitem ajustes sazonais e proporcionam flexibilidade ao controle da entrada de luz e calor, otimizando o conforto térmico interno de forma passiva e adaptável às variações climáticas locais.

A cobertura do galpão deve incorporar soluções que reduzam a absorção de calor pela estrutura, considerando a significativa radiação solar horizontal registrada durante o ano. Recomenda-se o uso de telhas metálicas com pintura refletiva (cores claras ou metalizadas) e aplicação de isolantes térmicos leves, como mantas aluminizadas, lã de PET ou poliuretano expandido, posicionados abaixo das telhas. Essas soluções contribuem para minimizar a transferência de calor para o interior do galpão, mantendo a temperatura interna dentro da faixa recomendada para conservação da ração. A combinação de cobertura refletiva com isolamento térmico é uma medida eficaz e de baixo consumo energético, favorecendo o desempenho térmico global da edificação.

A temperatura média do solo em São Paulo, variando entre 17 °C e 21 °C, representa uma oportunidade para o aproveitamento térmico passivo por meio de soluções de pavimento ventilado ou subsolo técnico. A implantação de um piso elevado com circulação de ar inferior, ou de canaletas técnicas ventiladas, permite utilizar a inércia térmica do solo para reduzir o calor acumulado na base da edificação, contribuindo para o resfriamento natural do ambiente interno. Essa estratégia, quando associada a um sistema de ventilação cruzada eficiente, pode potencializar o desempenho térmico passivo da edificação, reduzindo a necessidade de climatização mecânica.

As estratégias passivas descritas neste estudo foram selecionadas considerando-se especificamente a tipologia construtiva adotada, baseada em estrutura metálica, e a atividade industrial desenvolvida no galpão (produção de ração bovina a granel). A estrutura metálica, apesar de apresentar menor inércia térmica que estruturas de concreto, oferece flexibilidade na incorporação de elementos como sheds, lanternins, venezianas e brises, favorecendo soluções de

climatização natural. Ao mesmo tempo, a natureza higroscópica dos insumos e produtos envolvidos na fabricação da ração demanda condições ambientais estáveis, com controle de temperatura e umidade. Assim, as soluções apresentadas foram definidas de forma a atender às exigências funcionais, sanitárias e energéticas da edificação, promovendo eficiência operacional com baixo consumo de energia.

4.3 SISTEMA ESTRUTURAL

A estrutura metálica do tipo pórtico rígido, composta por perfis de aço laminado destaca-se como sistema estrutural para o projeto executivo de um galpão industrial de produção de ração com desempenho energético otimizado. Este sistema é indicado com base em critérios de desempenho mecânico, viabilidade energética, modularidade, durabilidade e eficiência construtiva, conforme os parâmetros estabelecidos pelas normas técnicas brasileiras. O pórtico rígido é uma configuração estrutural em que vigas e pilares são rigidamente conectados entre si, formando um quadro estrutural estável capaz de resistir a ações horizontais e verticais sem a necessidade de contraventamentos diagonais adicionais. Esse tipo de sistema é altamente eficiente para criar grandes espaços internos livres de obstáculos, pois permite que o telhado seja sustentado apenas pelos pilares laterais, sem a necessidade de colunas intermediárias ao longo de grandes vãos, o que é especialmente vantajoso para ambientes industriais que exigem circulação contínua de equipamentos e flexibilidade no arranjo de maquinários de grande porte. Os perfis de aço laminado utilizados são elementos estruturais padronizados e fabricados em usinas siderúrgicas (como os perfis I, H, U e tubulares), conferindo alta resistência mecânica, uniformidade dimensional, rapidez de montagem, controle de qualidade e facilidade de transporte.

O critério de desempenho mecânico refere-se à capacidade da estrutura de resistir com segurança às ações permanentes (como o peso próprio da estrutura e das coberturas) e variáveis (como vento, chuva, carga dos equipamentos suspensos e movimentação interna), mantendo estabilidade e deformações dentro dos limites estabelecidos pelas normas técnicas, como a ABNT NBR 8800:2008 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios.

A modularidade, por sua vez, permite que os elementos da estrutura sejam projetados e fabricados em unidades repetitivas e padronizadas, o que facilita tanto a execução da obra quanto futuras ampliações ou reconfigurações da planta fabril, com impacto mínimo sobre a estrutura existente.

A durabilidade da estrutura metálica é garantida por tratamentos de proteção anticorrosiva, como pintura epóxi industrial ou galvanização a quente, conforme a ABNT NBR 6323:2021 – Revestimento metálico – Zincagem por imersão a quente, que assegura proteção contra os agentes agressivos do ambiente industrial (poeira, umidade e vapores orgânicos). A durabilidade estrutural também contribui para a redução da frequência de manutenções corretivas e do custo de ciclo de vida da edificação (LCC).

A eficiência construtiva está relacionada à velocidade e racionalidade do processo executivo: a estrutura metálica permite montagem a seco, com encaixes parafusados ou soldados, sem necessidade de formas ou escoramentos como no concreto, o que reduz o tempo de obra, o consumo de materiais auxiliares e o impacto no canteiro. Além disso, esse tipo de montagem é mais previsível e segura, e permite manter o cronograma com menos interferência de fatores climáticos.

A proposta estrutural baseia-se nos critérios estabelecidos pela ABNT NBR 8800:2008 – Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios, que normatiza o dimensionamento de perfis metálicos segundo os estados limites últimos (ELU) e de serviço (ELS), abrangendo aspectos como resistência à tração, compressão, flexão, cisalhamento, estabilidade global, ligações e ancoragens. A adoção de um sistema composto por pórticos rígidos em aço laminado permite a adoção de grandes vãos livres, visto que permite a eliminação de apoios intermediários na planta, conferindo maior flexibilidade espacial. Esse tipo de configuração estrutural é particularmente indicado para edificações industriais, pois garante um comportamento eficiente à flexão e ao cisalhamento nas ligações viga-pilar. A ausência de pilares centrais proporciona maior aproveitamento da área útil interna e facilita a movimentação de equipamentos logísticos e industriais, como silos verticais, misturadores de pás, transportadores mecânicos e veículos automotores de grande porte. Além disso, essa solução possibilita a implantação de um layout fabril linear ou setorialmente segmentado, com maior liberdade para disposição de linhas de produção contínuas — moagem,

dosagem, mistura, ensaque e armazenagem — conforme os requisitos operacionais do processo agroindustrial. A estrutura metálica também se mostra compatível com sobrecargas concentradas oriundas de equipamentos suspensos e estruturas auxiliares (como passarelas técnicas e torres de elevação), permitindo reforços localizados sem comprometer o desempenho global. Do ponto de vista da estabilidade global, os pórticos rígidos são capazes de atender aos critérios de segurança frente a ações horizontais — como cargas de vento — sem necessidade de contraventamentos diagonais, garantindo o conforto e a integridade estrutural ao longo da vida útil da edificação.

A viabilidade energética foi considerada a partir da constatação de que a estrutura metálica favorece a adoção de estratégias passivas de climatização e iluminação, como aberturas zenitais (shed, lanternins ou domus), ventilação cruzada e orientação solar adequada, reduzindo a dependência de sistemas artificiais de iluminação e resfriamento. Essa vantagem em relação aos demais sistemas estruturais decorre de características intrínsecas do sistema metálico: maior flexibilidade geométrica e modularidade, que permitem vãos maiores e livre criação de aberturas para luz natural e ventilação; menor peso próprio da estrutura possibilita o uso de coberturas leves com dispositivos translúcidos e exaustores sem necessidade de reforços pesados; a montagem precisa e industrializada assegura a integração eficiente desses elementos; além disso, o aço possui baixa inércia térmica, permitindo que o ambiente responda rapidamente às mudanças térmicas e que a ventilação natural seja mais eficaz.

Embora o aço conte com maior energia incorporada em sua fabricação (ou seja, consome mais energia para ser produzido inicialmente), essa desvantagem é compensada por sua alta reciclabilidade, facilidade de manutenção, desmontagem, reaproveitamento e pela baixa demanda de energia durante a obra, uma vez que o processo de montagem é rápido e com interferência mínima no meio ambiente. Esse equilíbrio é demonstrado nos estudos de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), conforme os princípios da ABNT NBR ISO 14044:2009, que comprovam que a estrutura metálica, quando bem projetada e utilizada, apresenta menor impacto ambiental total ao longo da vida útil da edificação. Portanto, a adoção do sistema estrutural metálico com pórticos rígidos atende simultaneamente aos requisitos de desempenho estrutural, racionalidade construtiva, flexibilidade operacional e eficiência energética. Mesmo que seu custo inicial possa ser superior ao de sistemas

convencionais como o pré-moldado de concreto, os benefícios acumulados em durabilidade, rapidez de implantação, economia de energia, manutenção e adaptabilidade ao longo do tempo tornam esta solução mais vantajosa técnica e economicamente para o presente projeto de uma planta industrial de produção de ração bovina a granel.

4.4 INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

As instalações elétricas de um galpão industrial destinado à produção de ração bovina a granel devem ser projetadas com base na classificação da carga industrial pesada, considerando o funcionamento simultâneo de motores, misturadores, transportadores, elevadores de caneca, sistemas de ventilação e equipamentos de ensaque e empacotamento.

A alimentação elétrica do galpão será realizada em média tensão (13,8 kV), por meio de um ponto de entrega fornecido pela concessionária local. Dado o porte da instalação e a previsão de demanda superior a 75 kVA, recomenda-se a utilização de um transformador do tipo pedestal trifásico com potência nominal de 225 kVA a 300 kVA. O transformador deverá alimentar um quadro geral de baixa tensão (QGBT), a partir do qual serão derivados os circuitos de distribuição para iluminação, tomadas, equipamentos industriais e sistemas auxiliares.

A instalação deverá dispor de um sistema de proteção e seccionamento em média tensão, incluindo chave fusível, religador ou disjuntor a vácuo, conforme exigências da concessionária. Após o transformador, o QGBT deve conter barramentos dimensionados conforme corrente de projeto, com dispositivos de proteção (disjuntores termomagnéticos e diferenciais) adequados a cada carga instalada. Deverá ser previsto um sistema de gerenciamento de demanda (SGD), com medição setorializada e dispositivos de proteção contra surtos (DPS) e sobrecargas.

A iluminação do galpão deverá ser planejada com luminárias LED industriais de alto rendimento (mínimo 130 lm/W), com índice de proteção IP65 ou superior, distribuídas para garantir níveis mínimos de iluminância entre 300 e 500 lux nas áreas de produção e ensaque, conforme as diretrizes da ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013. O sistema de iluminação natural por aberturas zenitais deve ser

considerado para redução da carga elétrica durante o dia, com sensores fotocélula para controle automático.

As instalações devem incluir também sistemas de força motriz trifásica (380/220 V), com partidas diretas, estrela-triângulo ou soft starters, conforme potência dos motores. É necessária a previsão de circuitos independentes para equipamentos críticos e sistemas de emergência, com fornecimento por grupo gerador ou nobreak (UPS), se necessário.

Deve ser projetado um sistema completo de aterramento elétrico do tipo TN-S ou TT, com hastes de cobre ou aço cobreado interligadas por condutores de seção adequada (mínimo 16 mm² em cobre nu), garantindo resistência de aterramento inferior a 10 ohms, conforme ABNT NBR 5410 e NBR 5419 (proteção contra descargas atmosféricas). Toda a estrutura metálica do galpão deve ser equipotencializada ao sistema de aterramento.

Para a área externa e cabines técnicas, os painéis e quadros elétricos devem possuir grau de proteção mínimo IP54 (ambiente protegido) ou IP65 (ambiente externo), com ventilação forçada ou climatização interna se necessário. Todos os condutores devem seguir especificações conforme NBR NM 247-3, com isolamento 750 V para circuitos de baixa tensão e 1 kV para motores e cargas específicas.

4.5 INSTALAÇÕES HIDROSSANITÁRIAS

As instalações hidrossanitárias do galpão industrial foram concebidas com base em critérios de funcionalidade, durabilidade e eficiência no uso dos recursos hídricos, respeitando as exigências sanitárias da produção de ração bovina a granel. O projeto respeita as normas brasileiras vigentes, notadamente a ABNT NBR 5626:2020 (Instalação predial de água fria), a NBR 8160:1999 (Sistema predial de esgoto sanitário), a NBR 10844:1989 (Águas pluviais) e a NBR 15527:2007 (Aproveitamento de água de chuva). As premissas adotadas buscam não apenas atender aos requisitos técnicos de segurança e higiene, mas também promover a redução do consumo de água potável, menor demanda energética associada ao bombeamento e mitigação de impactos sobre os sistemas urbanos de drenagem, configurando um sistema hidrossanitário ambiental e energeticamente eficiente.

A alimentação de água potável deve ser feita por conexão à rede pública ou a poço artesiano, com armazenamento em dois níveis: um reservatório inferior (cisterna) e um reservatório superior, com volumes mínimos de 2.000 e 1.000 litros respectivamente, estes devem ser dimensionados conforme tamanho da indústria e sua capacidade de produção. Essa configuração, além de garantir o abastecimento contínuo em caso de interrupções no fornecimento externo, permite o uso de bombas hidráulicas de menor potência, uma vez que estas precisam vencer apenas a altura entre o nível da cisterna e o reservatório elevado, o que reduz a altura manométrica total do sistema. Como a distribuição de água para os pontos de consumo é por gravidade, a pressão nos ramais internos se mantém estável sem a necessidade de pressurizadores permanentes, o que resulta em menor consumo de energia elétrica. Além disso, a bomba opera de forma intermitente, acionando-se apenas quando o nível do reservatório superior atinge o ponto mínimo, o que reduz a frequência de partidas e prolonga a vida útil do equipamento. O controle por boias elétricas e válvulas de retenção garante o funcionamento automático e evita refluxo, minimizando perdas e otimizando o uso energético e hídrico da instalação.

As tubulações de água fria em PPR (polipropileno copolímero random) ou PEAD (polietileno de alta densidade) possuem maior resistência mecânica, térmica e química, características especialmente importantes em ambientes industriais. Esses materiais também apresentam menor rugosidade interna em comparação ao PVC (policloreto de vinila), reduzindo as perdas de carga e permitindo o uso de bombas de menor potência, o que melhora a eficiência energética do sistema. A rede deve ser setorizada, permitindo o desligamento de áreas inativas e evitando consumo desnecessário. Além disso, adotar dispositivos economizadores, como válvulas de fechamento automático, que cortam o fluxo imediatamente após o uso, arejadores, que misturam ar à água reduzindo a vazão sem comprometer a funcionalidade, e bicos pulverizadores, que espalham a água em gotículas, aumentando a área de cobertura com menor volume. Esses dispositivos reduzem o volume consumido em cada operação e, com isso, diminuem o acionamento da bomba, contribuindo para a economia de energia elétrica.

A rede de esgoto sanitário projeta-se de forma independente da rede de efluentes industriais, conforme estabelece a ABNT NBR 8160:1999, a fim de evitar a mistura de águas com diferentes níveis de contaminação e facilitar o tratamento adequado de cada tipo. Os efluentes sanitários — provenientes de

banheiros, copa e lavatórios — são destinados à rede pública de esgotamento sanitário, quando disponível. O sistema deve ser provido de caixas de inspeção estrategicamente posicionadas nos trechos de mudança de direção, desnível e junção de ramais, permitindo o acesso para limpeza, manutenção e verificação do fluxo. Já os efluentes industriais, oriundos da lavagem de pisos, equipamentos, silos e áreas de ensaque, devem ser conduzidos por rede própria para uma estação de pré-tratamento localizada no próprio lote, composta por caixa de retenção de sólidos, separador de gorduras/resíduos orgânicos e tanque de equalização. Após esse tratamento primário, os efluentes poderão ser lançados na rede pública, desde que atendam aos parâmetros exigidos pelas normas locais para lançamento de efluentes não domésticos. O sistema projeta-se de maneira a operar preferencialmente por gravidade, reduzindo o uso de bombas e, conseqüentemente, o consumo energético. O pré-tratamento no local evita penalidades por descarte inadequado, reduz a carga poluidora enviada ao sistema público e torna a operação mais autônoma e energeticamente eficiente, sem a necessidade de estações de tratamento mais complexas.

No que se refere às águas pluviais, o projeto deve prever a captação da água da cobertura por meio de calhas metálicas, condutores verticais e horizontais em PVC ou galvanizado, devidamente dimensionados com base nas intensidades de precipitação da região, considerando período de retorno e área de contribuição conforme a ABNT NBR 10844:1989. A rede é equipada com caixas de inspeção pluviais instaladas em todos os pontos de mudança de direção, desnível e junção de condutores, permitindo o acesso à manutenção, desobstrução e verificação de funcionamento do sistema. Parte da água captada é direcionada para um reservatório de reuso com pré-filtragem, em conformidade com a ABNT NBR 15527:2007, e utilizada para usos não potáveis como lavagem de pisos, veículos e descarga de sanitários industriais. Essa solução reduz a demanda por água potável e, conseqüentemente, o consumo energético associado ao bombeamento e tratamento pela concessionária. Além disso, o reuso contribui para a diminuição da carga hidráulica sobre o sistema público de drenagem urbana, funcionando como estratégia de drenagem sustentável e energeticamente eficiente. O sistema deve ser concebido para operar por gravidade, sempre que possível, evitando a necessidade de bombeamento contínuo.

Além disso, o sistema conta com previsão para infraestrutura de

irrigação inteligente em eventuais áreas verdes externas, utilizando a água de reuso. O controle poderá ser realizado por temporizadores ou sensores de umidade, evitando irrigação desnecessária. Tais estratégias agregam valor ao projeto, aproximando-o dos conceitos de edificações sustentáveis e industriais de baixo impacto, alinhadas com as diretrizes da Agenda ESG (Environmental, Social and Governance) e ODS 6 (Água potável e saneamento) da ONU.

Todas as instalações foram especificadas para facilitar manutenção, inspeção e monitoramento do consumo, permitindo a implementação futura de sistemas inteligentes de gestão hídrica, com sensores de vazão, vazamentos e controle remoto, o que potencializa ainda mais os ganhos energéticos e operacionais. A lógica de projeto adotada busca reduzir ao máximo os consumos de água e energia associados, sem comprometer a eficiência sanitária da edificação.

4.6 INSTALAÇÕES DE INCÊNDIO

As instalações de combate a incêndio devem ser projetadas conforme as diretrizes da NBR 13714 (Sistema de Hidrantes e de Mangotinhos para Combate a Incêndio), da NBR 10897 (Sistema de Sprinklers), e das normativas do Corpo de Bombeiros local (como o Regulamento de Segurança Contra Incêndio – RSCI, conforme o estado). A natureza do processo produtivo e o tipo de material armazenado (grãos, farelos, produtos farináceos) implicam alto risco de incêndio, principalmente por poeiras combustíveis, exigindo sistemas de proteção ativos e passivos rigorosamente dimensionados.

A estrutura metálica do galpão apresenta menor resistência ao fogo se comparada a estruturas em concreto. Por isso, é recomendada a aplicação de pintura intumescente nas estruturas principais (vigamentos, pilares e treliças), a fim de garantir estabilidade por no mínimo 60 minutos em situação de incêndio, conforme indicado pela NBR 14432 (Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos). Essa medida evita colapso prematuro da edificação e permite a evacuação segura dos ocupantes.

Como medida de combate ativo, o sistema de hidrantes deve ser dimensionado com base na carga de incêndio específica da planta industrial. Para galpões com áreas superiores a 750 m² e risco médio ou elevado, recomenda-se um sistema do tipo 2 ou tipo 3, com rede pressurizada por bomba de incêndio (bomba

principal, reserva e jockey), reservatório exclusivo (mínimo 30 m³, dependendo do tempo de autonomia) e abrigos de hidrantes com esguichos reguláveis. Os pontos de hidrantes devem ser distribuídos de forma que permitam cobertura total da área interna com alcance máximo de 30 metros por lance de mangueira.

Além disso, é altamente recomendável a instalação de um sistema automático de sprinklers, especialmente sobre as áreas de armazenamento e nas zonas de mistura e ensacamento de ração, onde a concentração de partículas suspensas pode formar atmosferas potencialmente explosivas. Sprinklers do tipo "padrão de resposta rápida" (quick response) podem ser adotados para melhorar a resposta inicial ao incêndio. O sistema deve estar conectado a um sistema de detecção e alarme, com sensores térmicos e ópticos para monitoramento contínuo.

A sinalização e iluminação de emergência, conforme a NBR 13434 e a NBR 10898, devem ser integradas ao projeto com rotas de fuga claramente demarcadas, placas fotoluminescentes e iluminação de autonomia mínima de 1 hora. As rotas de saída devem ser dimensionadas com base na lotação máxima prevista e dispostas de forma a permitir evacuação rápida, mesmo em condições de fumaça.

Por fim, a eficiência energética do galpão, embora não diretamente relacionada às instalações de incêndio, deve ser preservada durante a implementação desses sistemas. Para isso, recomenda-se o uso de equipamentos hidráulicos com motores de alto rendimento (nível IR3 ou superior), automação da bomba jockey para evitar consumo desnecessário e utilização de iluminação de emergência em LED com baixo consumo.

Assim, o conjunto das medidas propostas visa garantir a segurança da edificação, de seus ocupantes e da produção, atendendo às exigências técnicas e normativas vigentes, sem comprometer o desempenho energético da indústria.

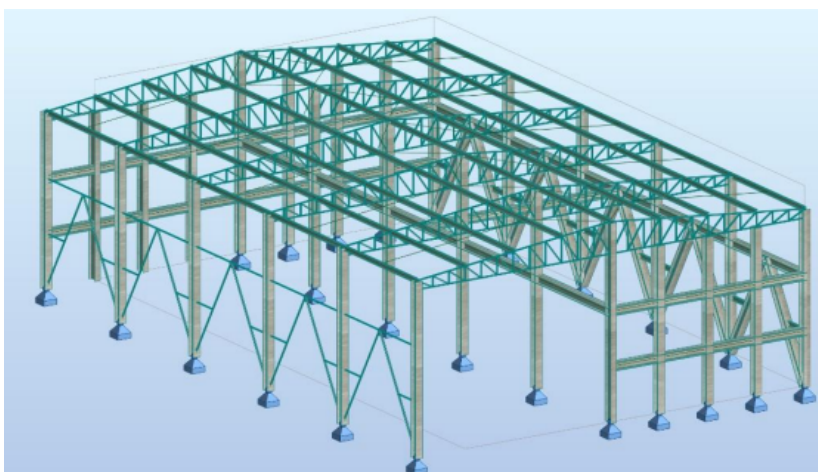
4.7 MEMORIAL DE CÁLCULO ESTRUTURAL PROPOSTO PARA PROJETO

4.7.1 Dados Do Projeto

A estrutura a ser dimensionada, conta com dois módulos igualmente simétricos com as seguintes dimensões principais: pé direito da edificação de 9,00 m; largura de 30 m e comprimento de 20 m. Os fechamentos laterais, frontal e

traseiro da cobertura, deverão ser executados em telhas inclinadas. Vale observar que as fachadas frontal e traseira são idênticas em termos de dimensões (pé-direito, comprimento e altura) em planta. Visto o acabamento em laje. As fachadas laterais, direita e esquerda, também são simétricas em termos de dimensões (pé-direito, comprimento e altura) em planta.

Figura 8 – Arquitetura do projeto



Fonte: Autora, 2025.

4.7.1.1 Normas Consideradas No Projeto

- ABNT NBR 8800/2008 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios;
- ABNT NBR 6123/1988 – Forças devidas ao vento em edificações;
- ABNT NBR 8681:2003 - Ações e segurança nas estruturas – Procedimento;
- NBR 6120 – Ações para o cálculo de estruturas de edificações.
- NBR 6355 – Perfis estruturais de aços formados a frio - padronização.
- NBR 14323 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situação de incêndio;
- NBR 14432 – Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento.

4.7.1.2 Modelo De Telhas Adotadas No Projeto

Especificações da Telha adotada para o projeto: Telha trapezoidal 40 Tipo Sanduiche - Telha superior, EPS, telha inferior - espessuras das chapas 0,43+0,43 mm, 0,40mm de enchimento em poliuretano, vão de 2,00 de cobrimento, com recobrimento lateral duplo de 205 mm, para 3 apoios, e sobrecarga admissível correspondente à 189 daN/m². Peso próprio da telha = 8,69 daN/m² = 0,0869 N/m². Valores de cálculos baseados do catálogo técnico de produtos da Perfilor, Arcellor Mittal.

4.7.1.3 Especificação Das Terças

As terças da estrutura metálica deverão ser executadas em Perfil de Barra simples 2L2X2X1/8 em aço laminado ASTM A36, conforme norma brasileira ABNT NBR 8800:2008, com dimensões indicadas em projeto conforme. Para o dimensionamento da estrutura, foram consideradas as dimensões e características técnicas e estáticas dos perfis metálicos de referência comercial: Gerdau. As Terças deverão ser fixadas perpendicularmente ao banzo superior das treliças respeito o ângulo de inclinação das telhas, conforme indicado no projeto, através de cordão de solda contínuo.

4.7.1.4 Especificação Das Treliças

Os perfis constituintes das treliças da estrutura metálica deverão ser executados em Perfil de Barra simples 2L2X2X1/8 em aço laminado ASTM A36, conforme norma brasileira ABNT NBR 8800:2008. Para o dimensionamento da estrutura, foram consideradas as dimensões e características técnicas e estáticas dos perfis metálicos de referência comercial, como Gerdau.

4.7.1.5. Especificação Dos Contraventamentos

Os contraventamentos da estrutura metálica deverão ser executados em Barras de aço W14X90 ASTM A36, com seção transversal em I, conforme norma brasileira ABNT NBR 8800:2008.

4.7.2 Memorial De Cálculo Estrutural

4.7.2.1. Carregamento

Primeiramente, definiu-se a geometria da treliça, que foi realizada através do Robot Autodesk.

4.7.2.1.1. Cargas Atuantes na Cobertura

4.7.2.1.1.1. Carregamento permanente

Tabela 2 - Carregamento Permanente Atuante na Cobertura
Carregamento Permanente

Carregamento	Simbologia	Unidade	Valor do carreg.
Peso próprio das telhas	qpp	kN/m ²	0.0869
Peso próprio das telhas inclinadas	qppi	kN/m ²	0.0873
Peso Próprio dos Contraventamentos	qpc	kN/m ²	0.0100
Peso da cumeeira	qcu	kN/m	0.0261
Peso Próprio das Calhas	pcalhas	kN/m	0.6681

Fonte: Autora, 2025.

4.7.2.1.1.2. Sobrecarga

Tabela 3 - Sobrecarga de Projeto atuante na Cobertura
Sobrecarga

Carregamento	Simbologia	Unidade	Valor do carreg.
Sobrecarga de Paineis Solares Fotovoltaicos	ppv	kN/m ²	0.2452
Sobrecarga Normativa	sc	kN/m ²	0.2452

Fonte: Autora, 2025.

4.7.2.2 Análise Do Vento

4.7.2.2.1 Metodologia De Cálculo

4.7.2.2.1.1 Pressão Dinâmica Do Vento

A pressão dinâmica depende da velocidade do vento e de fatores que a influenciam, sendo a velocidade usada em projeto (V_k), onde considera-se os fatores topográficos (S_1), fator de rugosidade (obstáculos no entorno da edificação) e dimensões da edificação (S_2) e o fator de uso da edificação (S_3). A expressão para o cálculo da vida útil é dada por:

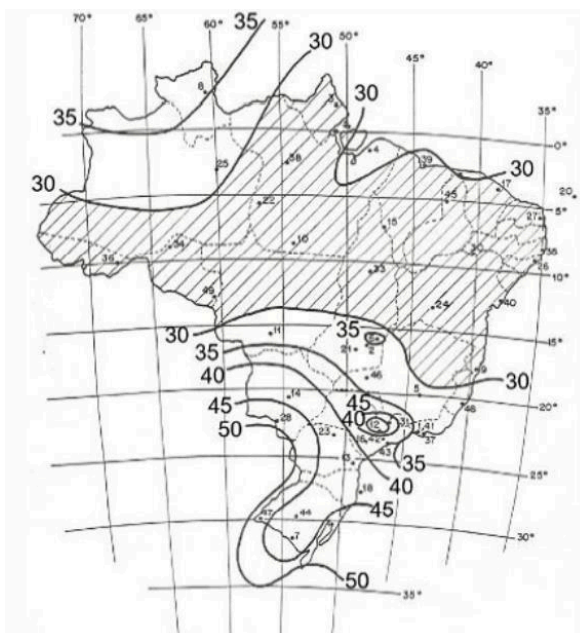
$$V_k = V_0 \times S_1 \times S_2 \times S_3$$

Equação 1

Segundo a NBR 6123 a velocidade básica do vento (V_0) é a velocidade de uma rajada de três segundos de duração, a 10 metros de altura, em campo aberto e plano, ultrapassada, em média, uma vez em 50 anos.

Segundo a NBR 6123 a velocidade básica do vento (V_0) é a velocidade de uma rajada de três segundos de duração, a 10 metros de altura, em campo aberto e plano, ultrapassada, em média, uma vez em 50 anos.

Figura 9 – Isopletas de velocidade básica V_0 (m/s)



Fonte: NBR 6123:2023.

- Análise do fator topográfico

Para determinação deste fator, deve-se levar em consideração o terreno no qual o galpão se apresenta. Os valores são determinados segundo a

NBR 6123, tendo como fatores:

Tabela 4 – Determinação do fator topográfico

Característica do Terreno	Valor de S₁
Terreno plano ou fracamente acidentado	=1
Taludes e morros (segundo NBR 6123)	≥1
Vales profundos, protegidos por vento de qualquer direção	=0,9

Fonte: NBR 6123, 2023.

Para o galpão será adotado o fator de S₁ como 1, sendo o terreno de sua construção terreno plano.

- Fator de rugosidade

Ao se tratar dos obstáculos no entorno da edificação e das dimensões da edificação. A equação para este fator é dada por:

$$S_2 = b \times F_r \times \left(\frac{z}{10} \right)^p$$

Equação 2

Deve-se analisar a parte da norma para determinar a categoria que se encontra, resumido pela tabela 5:

Tabela 5 – Categoria para definição do fator de rugosidade

Categoria definida	Característica do terreno
Categoria I	Superfícies lisas de grandes dimensões, com mais de 5 km de extensão, medida na direção do vento incidente;
Categoria II	Terrenos abertos em nível ou aproximadamente em nível, com poucos obstáculos espaçados, como árvores e edificações baixas;
Categoria III	Terrenos planos ou ondulados com obstáculos como muro poucas árvores, edificações baixas e esparsas;
Categoria IV	Terrenos cobertos por obstáculo numerosos e poucos espaçados, em zona florestal, industrial ou urbanizada;
Categoria V	Terrenos cobertos por obstáculos numerosos, grandes, altos e pouco espaçados;

Fonte: NBR 6123, 2023.

Para as classes de dimensões das edificações, tem-se a tabela 6:

Tabela 6 – Classes de edificação seguindo a NBR 6123

Classe	Descrição da edificação
A	Maior dimensão da superfície frontal menor ou igual a 20 metros
B	Maior dimensão da superfície frontal entre 20 e 50 metros
C	Maior dimensão da superfície frontal que 50 metros

Fonte: NBR 6123, 2023.

Para o cálculo final de S2 considera-se parâmetros apresentados nas Tabelas 5 e 6 e analisados segundo as Figuras 10 e 11.

Figura 10 – Parâmetros meteorológicos

Categoria	z_g (m)	Parâmetro	Classes		
			A	B	C
I	250	b_m	1,10	1,11	1,12
		p	0,06	0,065	0,07
II	300	b_m	1,00	1,00	1,00
		p	0,085	0,09	0,10
III	350	b_m	0,94	0,94	0,93
		p	0,10	0,105	0,115
IV	420	b_m	0,86	0,85	0,84
		p	0,12	0,125	0,135
V	500	b_m	0,74	0,73	0,71
		p	0,15	0,16	0,175

Fonte: NBR 6123, 2023.

Figura 11 – Fator de Rajada

F_r	Classes		
	A	B	C
	1,00	0,98	0,95

Fonte: NBR 6123, 2023.

- Fator estatístico

Se baseia em conceitos estatísticos relacionando o grau de segurança e a vida útil da edificação.

Para determinação segue-se a tabela 7 apresentada abaixo:

Tabela 7. Valores mínimos do fator estatístico S_3

Grupo	Descrição	S_3	T_p (anos)
1	Estruturas cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou a possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva. Pontes rodoviárias e ferroviárias. Estruturas que abrigam substâncias inflamáveis, tóxicas e/ou explosivas. Vedações das edificações do grupo 1.	1,1	100
2	Estruturas cuja ruína representa substancial risco à vida humana, particularmente a pessoas em aglomerações, crianças e jovens, incluindo, mas não limitado a grupos especificados na norma. Vedações das edificações do grupo 2.	1,06	75
3	Edificações para residenciais, hotéis, comércio, indústrias. Estruturas ou elementos estruturais desmontáveis com vistas a reutilização. Vedações das edificações do grupo 3 (telhas, vidros, painéis de vedação).	1,00	50
4	Edificações não destinadas à ocupação humana e sem circulação de pessoas no entorno. Vedações das edificações do grupo 4.	0,95	37
5	Edificações temporárias não reutilizáveis. Estruturas dos Grupos 1 a 4, durante a construção. Vedações das edificações do grupo 5.	0,83	15

Nota: Tabela apresenta-se resumida, para utilização da tabela completa deve-se consultar a norma.

Fonte: NBR 6123, 2023.

4.7.2.2.1.2 Coeficientes Aerodinâmicos

Este coeficiente é delimitado pelas pressões e sucções, ocorridas externamente às edificações e dependem da localização das aberturas e proporções da construção, seguindo a NBR 6123. Sendo subdivididos em pressão interna e pressão externa.

A norma apresenta valores de carga externa e interna para ação em 0° e 90° para altura relativa e seus grupos, deste modo pode utilizar como base para os cálculos a seguir.

- Pressão externa e interna

Os muros apresentam um formato retangular, desta forma a carga

distribuída foi determinada pela Equação 3.

$$\sum q_d = \rho \times (a \times b)$$

Equação 3

Onde:

q_d : Carga distribuída total (kN/m);

ρ : Peso específico do material

(kN/m³); a: Largura da seção (m);

b: Comprimento da seção (m).

Para as cargas pontuais seguiu-se a Equação 4:

$$\sum q_p = C_e \times (a \times b)$$

Equação 4

Onde:

q_p : Carga pontual (kN)

C_e : Carga estrutural (kN/m²)

As análises de pressão na cobertura, muro e outras dimensões, deve-se levar em consideração a área de influência definida pela dimensão analisada e do coeficiente admitido a partir das tabelas da NBR 6123, sendo aplicado na Equação 5.

$$F_r = q \times A_i \times \text{Coeficiente}$$

Equação 5

Onde:

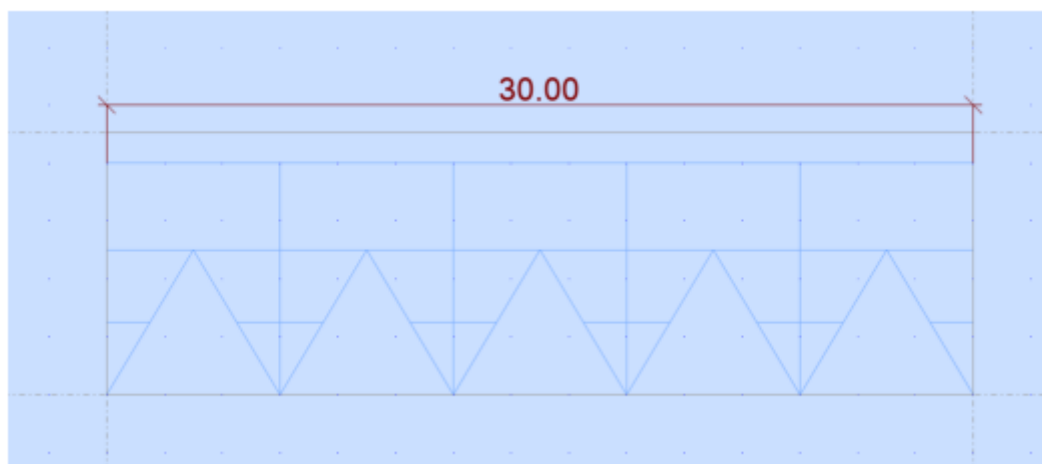
F_r : Força resultante (kN)

A_i : Área de influência (m²)

4.7.2.2.2 Resultados

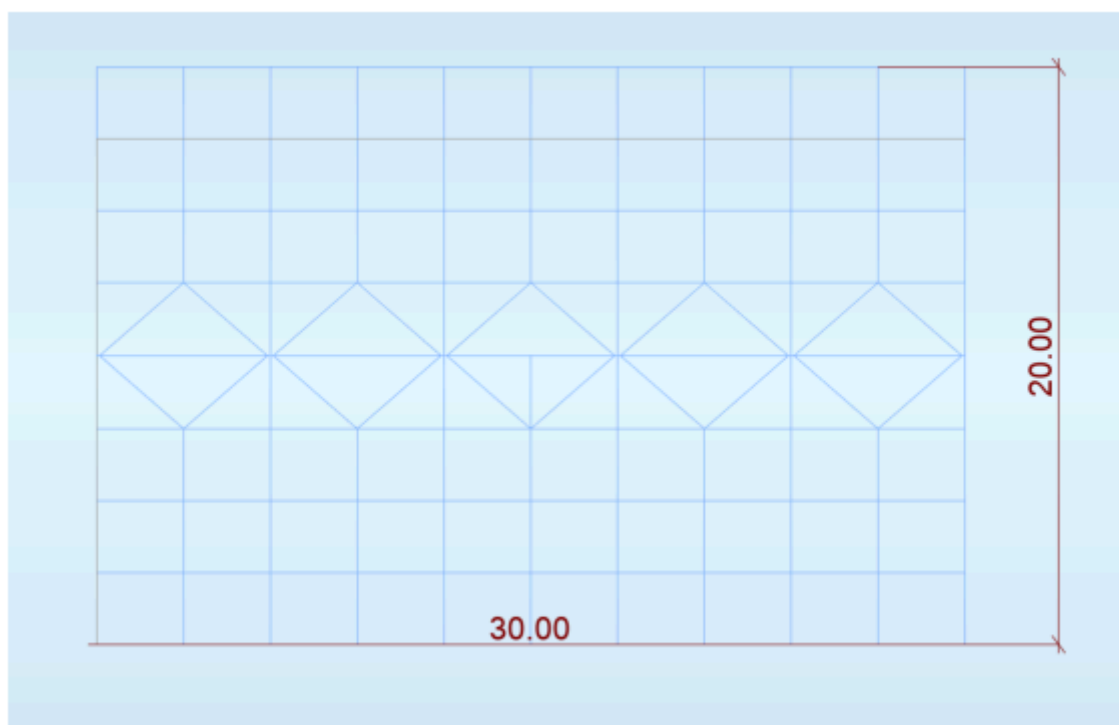
O cálculo de vento foi realizado com auxílio do software VisualVentos.

Figura 12. Vista lateral da estrutura para verificação dos coeficientes do cálculo de vento



Fonte: Autora, 2025.

Figura 13. Vista superior para verificação dos coeficientes do cálculo de vento

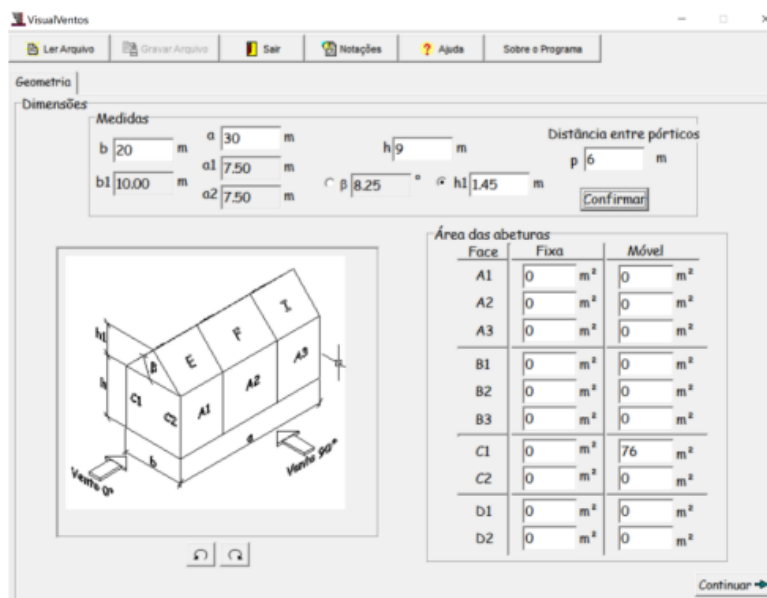


Fonte: Autora, 2025.

Para a estrutura dimensionada, foram consideradas aberturas móveis

em uma face. As aberturas se darão por portas metálicas com áreas útil de 76 m², para acesso de manutenção.

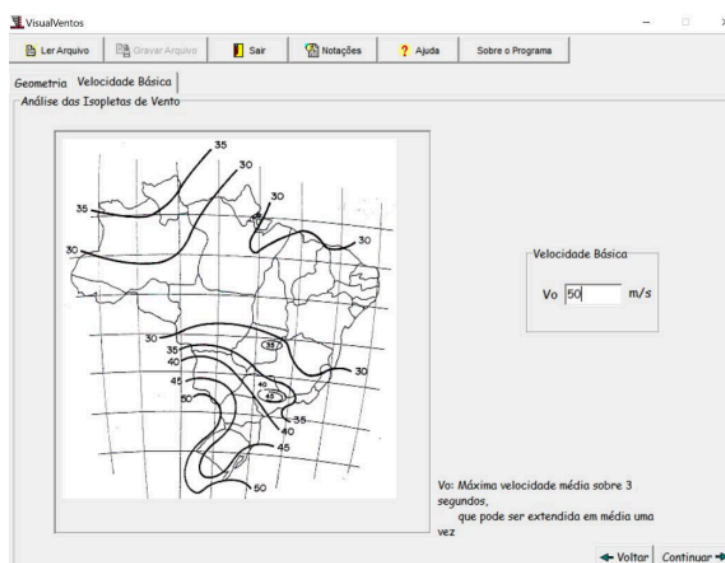
Figura 14. Características da estrutura no VisualVentos



Fonte: VisualVentos; Autora (2025).

A velocidade básica do vento, V_0 , é determinada a partir da localidade onde a estrutura será construída e é determinada pela NBR 6123/1988. Logo, no caso desta edificação utiliza-se o valor de $V_0 = 50\text{m/s}$ para a cidade de São Paulo - SP.

Figura 15. Velocidade básica do vento.



Fonte: VisualVentos; Autora, 2025.

A velocidade V_0 deve ainda ser multiplicada pelos fatores S_1 , S_2 e S_3 para obter-se a velocidade característica do vento, V_k .

Onde: S_1 = fator topográfico que leva em conta as variações do relevo do terreno; S_2 = fator que considera o efeito combinado da rugosidade do terreno, da variação da velocidade do vento com a altura acima do terreno e das dimensões da edificação ou parte da edificação em consideração; S_3 = fator estatístico que é baseado em conceitos estatísticos, e considera o grau de segurança requerido e a vida útil da edificação.

Logo:

$S_1 = 1,00$, pois o terreno é considerado plano ou levemente acidentado.

$S_{2cobertura} = 0,98$

$S_{2parede} = 0,98$

- Categoria II: Terrenos abertos em nível ou aproximadamente em nível, com poucos obstáculos isolados, tais como árvores e edificações baixas.

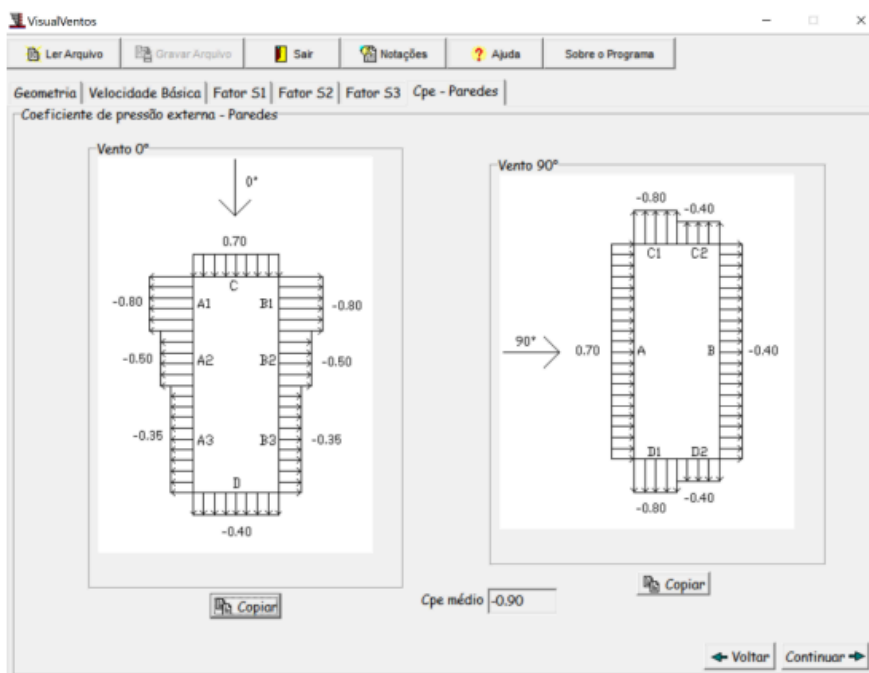
- Classe B: Toda edificação ou parte de edificação para a qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal esteja entre 20 m e 50 m.

$S_3 = 1,00$

- Fator estatístico Grupo 3: Edificações para residenciais, hotéis, comércio, indústrias. Estruturas ou elementos estruturais desmontáveis com vistas a reutilização.

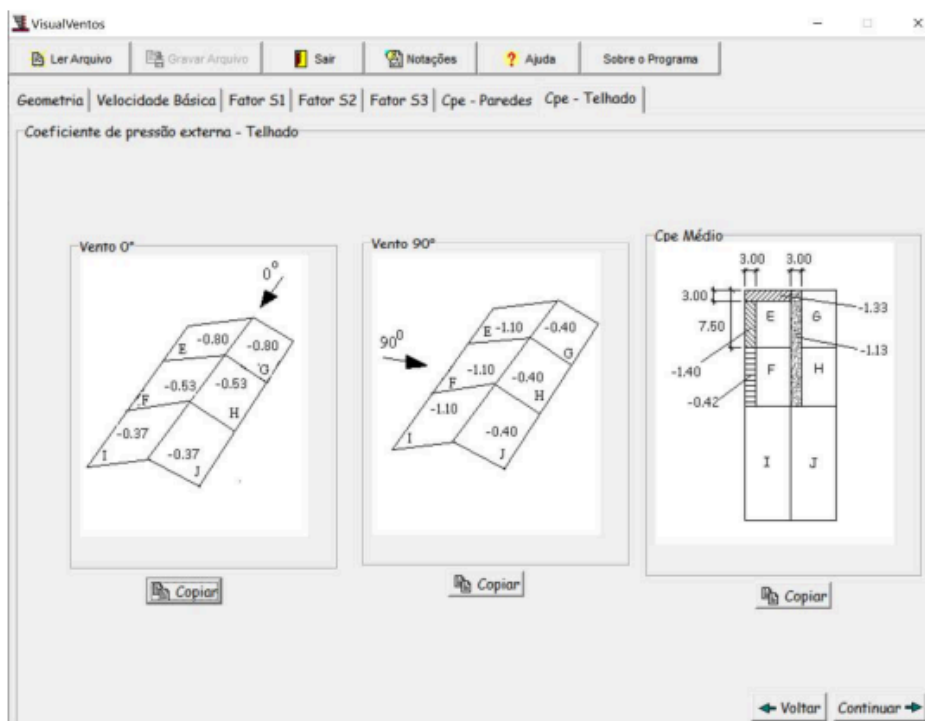
4.7.2.2.2.1 Cálculo Do Coeficiente De Pressão E Forma Externos (C_e):

Figura 16. Coeficientes externos dos ventos 0° e 90° para as paredes



Fonte: VisualVentos; Autora, 2025.

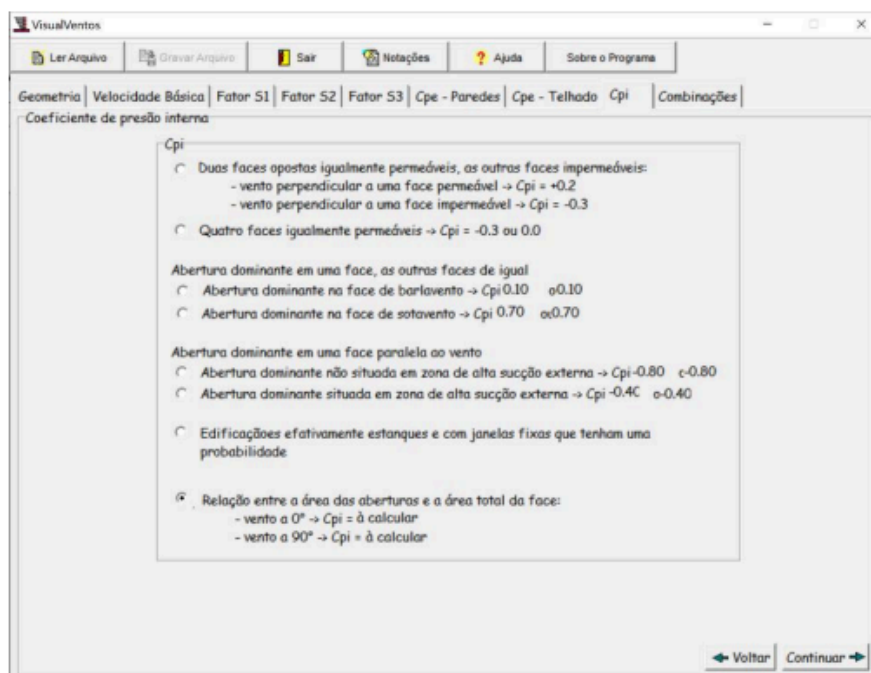
Figura 17. Coeficientes externos dos telhados



Fonte: VisualVentos; Autora, 2025.

4.7.2.2.2 Cálculo Do Coeficiente De Pressão E Forma Internos (Ci):

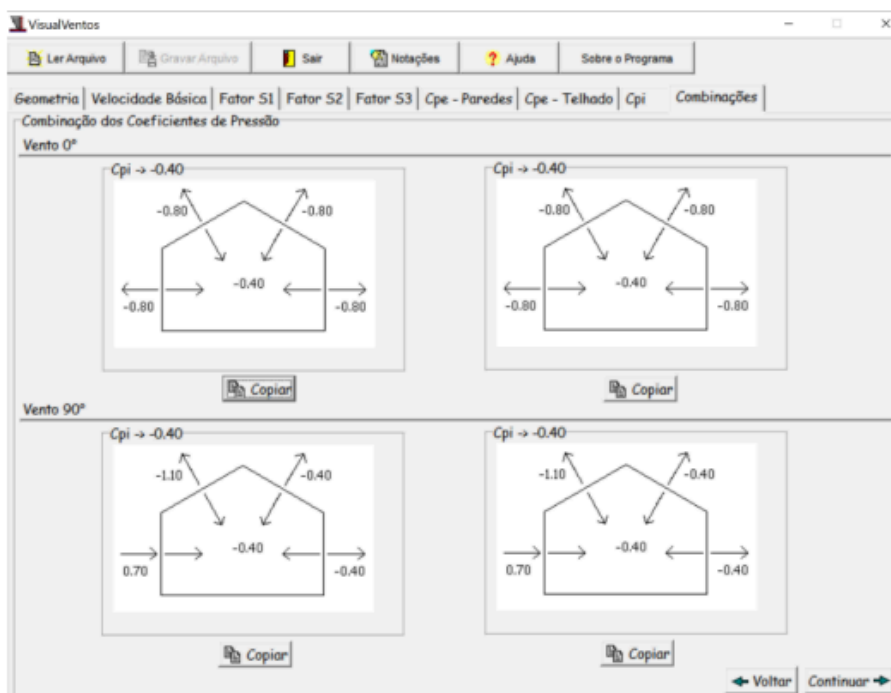
Figura 18. Coeficientes internos(Ci) da estrutura:



Fonte: VisualVentos; Autora, 2025.

4.7.2.2.3 Coeficientes De Pressão E Forma Internos Máximos E Mínimos:

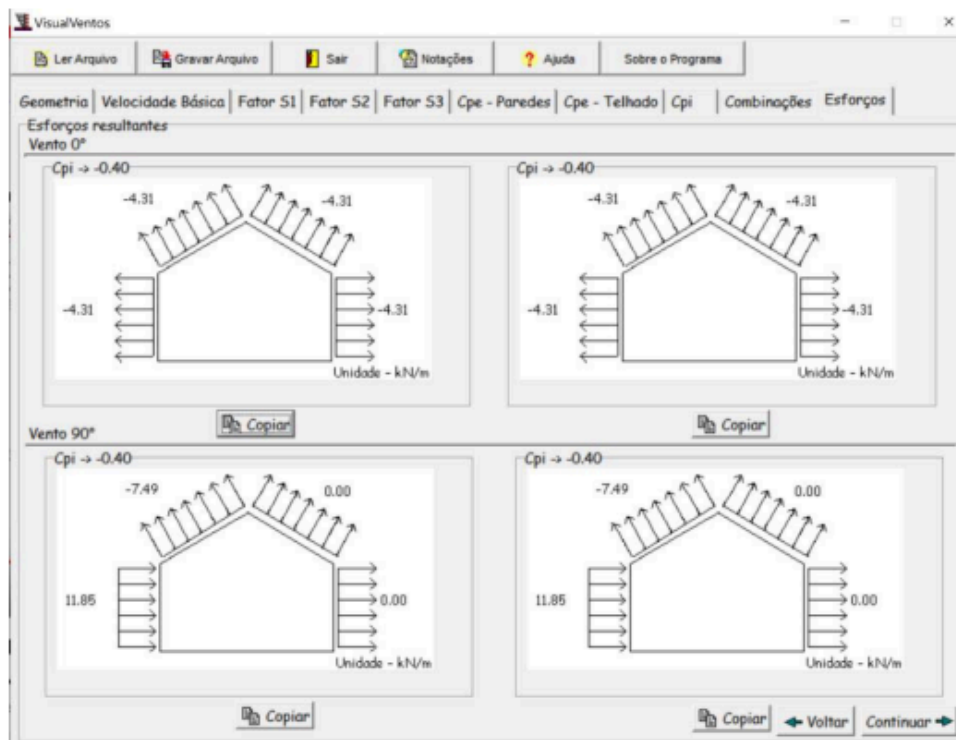
Figura 19. Resultado final dos Ci's da estrutura



Fonte: VisualVentos; Autora, 2025.

4.7.2.2.4 Coeficientes finais

Figura 20. Resultado final das forças de vento na estrutura



Fonte: VisualVentos; Autora, 2025.

4.7.2.3 Dimensionamento Das Terças

As terças, são perfis metálicos da estrutura que tem como função receber a carga do telhado e distribuí-la para a estrutura. O dimensionamento foi realizado segundo a NBR 8800/2008, para perfil laminado.

Dados considerados:

- Módulo de Elasticidade do aço: $E = 200000 \text{ MPa} = 20000 \text{ kN/cm}^2$.
- Módulo de Elasticidade transversal do aço: $G = 77000 \text{ MPa} = 7700 \text{ kN/cm}^2$.
- Perfil considerado: Perfil U Aço ASTM A36: $f_y = 250 \text{ MPa} = 25 \text{ kN/cm}^2$; $f_u = 400 \text{ MPa} = 40 \text{ kN/cm}$.

Combinações de esforços consideradas no dimensionamento do perfil:

Tabela 8. Combinação de esforços 1

Carga	Coefficiente
Normal	0
Vento	0,84
Permanente	1,25
Sobrecarga	1,5

Fonte: Autora, 2025.

Tabela 9. Combinação de esforços 2

Carga	Coefficiente
Normal	0
Vento	1,40
Permanente	1,25
Sobrecarga	1,20

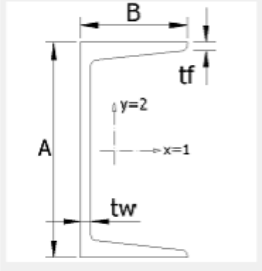
Fonte: Autora, 2025.

Tabela 10. Combinação de esforços 3

Carga	Coefficiente
Normal	0
Vento	1,4
Permanente	1
Sobrecarga	0

Fonte: Autora, 2025.

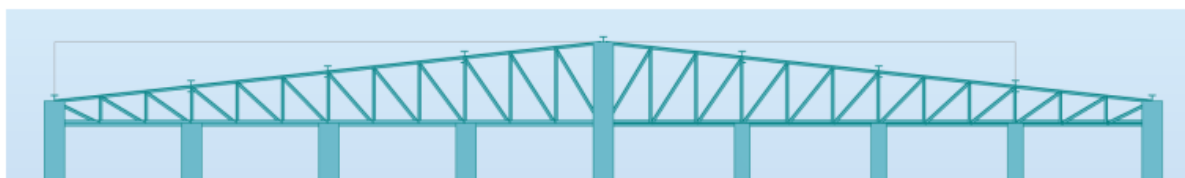
Tabela 11. Propriedades do Perfil U das Terças da Cobertura

	Resistências Tração: 1059,249 kN Compressão: 187,150 kN Momento em x: 66,944 kN.m Momento em y: 10,288 kN.m
Propriedades Área Bruta: 3883,914 mm ² I _x : 53420886,384 mm ⁴ I _y : 1999036,735 mm ⁴ r _x : 117,279 mm r _y : 22,687 mm x _{cg} : 16,510 mm x ₀ : -37,630 mm J: 132150,8618 mm ⁴ C _w : 29768988061,642 mm ⁶ W _x : 350530,751 mm ³ W _y : 36588,688 mm ³ Z _x : 415871,749 mm ³ Z _y : 75819,619 mm ³	Esbeltez Esbeltez em x: 69,919 Esbeltez em y: 180,721 Equações de Interação Equação 1: 0,949 Equação 2: não se aplica Combinação Crítica: 2 Flecha Flecha: 28,067 mm Perm + VP + 0,75C Carregamentos da Combinação: 1 Cortante V _{sd} /V _{rd} : 0,065 Combinação Crítica: 2

4.7.2.4 Dimensionamento Da Estrutura Treliçada

O dimensionamento da estrutura foi realizado com auxílio do software Robot Autodesk. Resultados e dimensionamento apresentados no tópico 3.

Figura 13. Geometria de treliça



Fonte: Robot Autodesk; Autora, 2025.

4.7.2.5 Situações De Projeto

Para as distintas situações do projeto, as combinações de ações são definidas de acordo com os seguintes critérios:

- Com coeficientes:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_P P_k + \gamma_{Q1} \Psi_{p1} Q_{k1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Qi} \Psi_{ai} Q_{ki}$$

Equação 6

- Sem coeficientes:

$$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P_k + \sum_{i \geq 1} Q_{ki}$$

Equação 7

Onde:

G_k = Ação permanente;

P_k = Ação de pré-esforço;

Q_k = Ação variável;

γ_G = Coeficiente parcial de segurança das ações permanentes;

γ_P = Coeficiente parcial de segurança da ação de pré-esforço;

$\gamma_{Q,1}$ = Coeficiente parcial de segurança da ação variável principal;

$\gamma_{Q,i}$ = Coeficiente parcial de segurança das ações variáveis de acompanhamento;

$\psi_{p,1}$ = Coeficiente de combinação da ação variável principal;

$\psi_{a,i}$ = Coeficiente de combinação das ações variáveis de acompanhamento.

Para cada situação de projeto e estado limite os coeficientes a utilizados são:

Tabela 12. Coeficientes utilizados - E.L.U. Aço laminado: ABNT NBR 8800:2008

	Coef. Parciais (γ)		Coeficientes (ψ)	
	Favorável	Desfavorável	Principal (ψ_p)	Acompanhamento (ψ_a)
Permanente (G)	1	1,5	-	-
Sobrecarga (Q)	0	1,5	1	0,8
Vento (Q)	0	1,4	1	0,6

Fonte: Autora, 2025.

Tabela 13. Coeficientes utilizados - Deslocamentos - Ações variáveis sem sismo

	Coeficientes parciais	
	Favorável	Desfavorável
Permanente (G)	1,0	1,0
Sobrecarga (Q)	0,0	1,0
Vento (Q)	0,0	1,0

Fonte: Autora, 2025.

Utiliza-se os seguintes nomes para as ações consideradas:

- PP = Peso próprio
- q_{ppi} = q_{ppi}
- q_{pc} = q_{pc}
- p_{calhas} = p_{calhas}
- q_{cu} = q_{cu}
- q_t = q_t
- Sobrecarga Normativa = 25 kgf/m²
- p_{pv} = 25 kgf/m²
- V 0° Pressão Cobertura = V 0° Pressão Cob
- V 0° Sucção Cobertura = V 0° Sucção Cob
- V 90° Pressão Cobertura = V 90° Pressão Cob
- V 90° Sucção Cobertura = V 90° Sucção Cob
- V 0° Pressão Pilar = V 0° Pressão Pilar
- V 0° Sucção Pilar = V 0° Sucção Pilar
- V 90° Pressão Pilar = V 90° Pressão Pilar
- V 90° Sucção Pilar = V 90° Sucção Pilar

4.7.3 Resultados De Dimensionamento Da Estrutura Metálica

Member Verification

STEEL DESIGN

CODE: *ABNT NBR 8800:2008 An Brazilian National Standard, Jan 12, 2013*

ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 1 Member_1_DEFAULT_NAME_XXX1AÇO

POINT: 1 COORDINATE: x = 0.05 L

=
0.40 m

LOADS:

Governing Load Case: 4 WIND1

MATERIAL:

AÇO Fy = 255.00 MPa Fu = 255.00 MPa E = 210000.00 MPa



SECTION PARAMETERS: W14X90

d=35.6 cm	Ay=132.84 cm ²	Az=39.74 cm ²	Ax=170.97 cm ²
bf=36.8 cm	Iy=41581.52 cm ⁴	Iz=15067.58 cm ⁴	J=168.99 cm ⁴
tw=1.1 cm	Sy=2338.67 cm ³	Sz=818.22 cm ³	
tf=1.8 cm	Zy=2572.77 cm ³	Zz=1238.86 cm ³	

MEMBER PARAMETERS:



Buckling Y



Buckling Z



Lb = 8.00 m

Cb = 1.00

INTERNAL FORCES:

T,Sd = 0.02 kN*m

tauTy,Sd = 0.26 MPa

tauTz,Sd = 0.16 MPa

Nt,Sd = -4.54 kN

My,Sd = -3.47 kN*m

Mz,Sd = 0.98 kN*m

Vy,Sd = 1.22 kN

Vz,Sd = 1.62 kN

DESIGN STRENGTHS

Nt,Rd = 3229.38 kN

My,Rd = 540.10 kN*m

Mz,Rd = 284.52 kN*m

Vy,Rd = 1847.66 kN

Vz,Rd = 552.77 kN

SAFETY FACTORS

ga2 = 1.35

ga1 = 1.10

SECTION ELEMENTS:

Flange = Compact

Web = Compact

VERIFICATION FORMULAS:

$N_{t,Sd}/(2*N_{t,Rd}) + M_{y,Sd}/M_{y,Rd} + M_{z,Sd}/M_{z,Rd} = 0.01 < 1.00$ (5.5.1.2.b) Verified

$V_{y,Sd}/V_{y,Rd} + \tau_{Ty,Sd}/(0.6*F_y/g_{a1}) = 0.00 < 1.00$ (5.4.3) Verified

$V_{z,Sd}/V_{z,Rd} + \tau_{Tz,Sd}/(0.6*F_y/g_{a1}) = 0.00 < 1.00$ (5.4.3) Verified

$L_{cy}/r_y = 51.30 < (L_c/r)_{max} = 300.00$ $L_{cz}/r_z = 85.22 < (L_c/r)_{max} = 300.00$ STABLE

Section OK !!!

STEEL DESIGN

CODE: *ABNT NBR 8800:2008 An Brazilian National Standard, Jan 12, 2013*

ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 194 Barra simples_194

POINT: 3 **COORDINATE:** $x = 0.31 L$

=

2.50 m

LOADS:

Governing Load Case: 4 WIND1

MATERIAL:

AÇO $F_y = 255.00 \text{ MPa}$ $F_u = 255.00 \text{ MPa}$ $E = 210000.00 \text{ MPa}$



SECTION PARAMETERS: W14X90

$d=35.6 \text{ cm}$	$A_y=132.84 \text{ cm}^2$	$A_z=39.74 \text{ cm}^2$	$A_x=170.97 \text{ cm}^2$
$bf=36.8 \text{ cm}$	$I_y=41581.52 \text{ cm}^4$	$I_z=15067.58 \text{ cm}^4$	$J=168.99 \text{ cm}^4$
$tw=1.1 \text{ cm}$	$S_y=2338.67 \text{ cm}^3$	$S_z=818.22 \text{ cm}^3$	
$tf=1.8 \text{ cm}$	$Z_y=2572.77 \text{ cm}^3$	$Z_z=1238.86 \text{ cm}^3$	

MEMBER PARAMETERS:



Buckling Y



Buckling Z



$L_b = 8.00 \text{ m}$

$C_b = 1.00$

INTERNAL FORCES:

$T_{,Sd} = 0.01 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$\tau_{y,Sd} = 0.14 \text{ MPa}$

$\tau_{z,Sd} = 0.08 \text{ MPa}$

$N_{t,Sd} = -19.81 \text{ kN}$

$M_{y,Sd} = -0.00 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$M_{z,Sd} = 24.26 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$V_{y,Sd} = -7.09 \text{ kN}$

$V_{z,Sd} = -0.00 \text{ kN}$

DESIGN STRENGTHS

$N_{t,Rd} = 3229.38 \text{ kN}$

$M_{y,Rd} = 540.10 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$M_{z,Rd} = 284.52 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$V_{y,Rd} = 1847.66 \text{ kN}$

$V_{z,Rd} = 552.77 \text{ kN}$

SAFETY FACTORS

$g_{a2} = 1.35$

$g_{a1} = 1.10$

SECTION ELEMENTS:

Flange = Compact

Web = Compact

VERIFICATION FORMULAS:

$N_{t,Sd}/(2 \cdot N_{t,Rd}) + M_{y,Sd}/M_{y,Rd} + M_{z,Sd}/M_{z,Rd} = 0.09 < 1.00$ (5.5.1.2.b) Verified

$V_{y,Sd}/V_{y,Rd} + \tau_{y,Sd}/(0.6 \cdot F_y/g_{a1}) = 0.00 < 1.00$ (5.4.3) Verified

$V_{z,Sd}/V_{z,Rd} + \tau_{z,Sd}/(0.6 \cdot F_y/g_{a1}) = 0.00 < 1.00$ (5.4.3) Verified

$L_{cy}/r_y = 51.30 < (L_c/r)_{,max} = 300.00$ $L_{cz}/r_z = 85.22 < (L_c/r)_{,max} = 300.00$ STABLE

Section OK !!

STEEL DESIGN

CODE: *ABNT NBR 8800:2008 An Brazilian National Standard, Jan 12, 2013*

ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 230 Barra simples_230

POINT: 3 **COORDINATE:** x = 1.00 L

=

6.00 m

LOADS:

Governing Load Case: 4 WIND1

MATERIAL:

AÇO Fy = 255.00 MPa Fu = 255.00 MPa E = 210000.00 MPa



SECTION PARAMETERS: W 8x18

d=20.7 cm	Ay=22.35 cm ²	Az=12.08 cm ²	Ax=33.94 cm ²
bf=13.3 cm	Iy=2576.47 cm ⁴	Iz=331.74 cm ⁴	J=7.16 cm ⁴
tw=0.6 cm	Sy=249.23 cm ³	Sz=49.75 cm ³	
tf=0.8 cm	Zy=278.58 cm ³	Zz=76.36 cm ³	

MEMBER PARAMETERS:



Buckling Y

Buckling Z

Lb = 6.00 m

Cb = 1.00

INTERNAL FORCES:

T,Sd = 0.00 kN*m

tauTy,Sd = 0.03 MPa

tauTz,Sd = 0.02 MPa

Nt,Sd = -1.74 kN

My,Sd = 4.19 kN*m

Mz,Sd = 1.08 kN*m

Vy,Sd = -1.18 kN

Vz,Sd = 3.34 kN

DESIGN STRENGTHS

Nt,Rd = 641.00 kN

My,Rd = 34.79 kN*m

Mz,Rd = 17.30 kN*m

Vy,Rd = 310.93 kN

Vz,Rd = 168.00 kN

SAFETY FACTORS

ga2 = 1.35

ga1 = 1.10

SECTION ELEMENTS:

Flange = Compact

Web = Compact

VERIFICATION FORMULAS:

$N_{t,Sd}/(2*N_{t,Rd}) + M_{y,Sd}/M_{y,Rd} + M_{z,Sd}/M_{z,Rd} = 0.18 < 1.00$ (5.5.1.2.b) Verified

$V_{y,Sd}/V_{y,Rd} + \tau_{Ty,Sd}/(0.6*F_y/ga1) = 0.00 < 1.00$ (5.4.3) Verified

$V_{z,Sd}/V_{z,Rd} + \tau_{Tz,Sd}/(0.6*F_y/ga1) = 0.02 < 1.00$ (5.4.3) Verified

$L_{cy}/r_y = 68.86 < (L_c/r)_{max} = 300.00$ $L_{cz}/r_z = 191.90 < (L_c/r)_{max} = 300.00$ STABLE

Section OK !!!

STEEL DESIGN

CODE: *ABNT NBR 8800:2008 An Brazilian National Standard, Jan 12, 2013*

ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 519 Member_519_DEFAULT_NAME_XXX519AÇO **POINT:** 3

COORDINATE: x

=

0.84 L = 7.60 m

LOADS:

Governing Load Case: 3 DL2

MATERIAL:

AÇO $F_y = 255.00$ MPa $F_u = 255.00$ MPa $E = 210000.00$ MPa



SECTION PARAMETERS: W18X97

d=47.2 cm	$A_y=124.61$ cm ²	$A_z=64.20$ cm ²	$A_x=183.87$ cm ²
bf=28.2 cm	$I_y=72840.50$ cm ⁴	$I_z=8366.25$ cm ⁴	$J=243.91$ cm ⁴
tw=1.4 cm	$S_y=3083.59$ cm ³	$S_z=593.48$ cm ³	
tf=2.2 cm	$Z_y=3457.67$ cm ³	$Z_z=906.20$ cm ³	

MEMBER PARAMETERS:



$L_{cy} = 9.05$ m

$L_{cz} = 9.05$ m

$K_y = 1.00$

$K_z = 1.00$

$L_b = 9.05$ m

$X_y = 0.90$

$X_z = 0.40$

$C_b = 1.00$

INTERNAL FORCES:

$T_{,Sd} = -0.00$ kN*m

$\tau_{y,Sd} = 0.01$ MPa

$\tau_{z,Sd} = 0.01$ MPa

$N_{c,Sd} = 25.86$ kN

$M_{y,Sd} = -4.79$ kN*m

$M_{z,Sd} = -3.39$ kN*m

$V_{y,Sd} = 2.00$ kN

$V_{z,Sd} = -2.85$ kN

DESIGN STRENGTHS

$N_{c,Rd} = 1686.94$ kN

$M_{y,Rd} = 607.00$ kN*m

$M_{z,Rd} = 206.37$ kN*m

$V_{y,Rd} = 1733.16$ kN

$V_{z,Rd} = 892.96$ kN

SAFETY FACTORS

$ga_2 = 1.35$

$ga_1 = 1.10$

SECTION ELEMENTS:

Flange = Compact

Web = Compact

VERIFICATION FORMULAS:

$N_{c,Sd}/(2*N_{c,Rd}) + M_{y,Sd}/M_{y,Rd} + M_{z,Sd}/M_{z,Rd} = 0.03 < 1.00$ (5.5.1.2.b) Verified

$V_{y,Sd}/V_{y,Rd} + \tau_{y,Sd}/(0.6*F_y/ga_1) = 0.00 < 1.00$ (5.4.3) Verified

$V_{z,Sd}/V_{z,Rd} + \tau_{z,Sd}/(0.6*F_y/ga_1) = 0.00 < 1.00$ (5.4.3) Verified

$L_{cy}/r_y = 45.47 < (L_c/r)_{,max} = 200.00$ $L_{cz}/r_z = 134.17 < (L_c/r)_{,max} = 200.00$ STABLE

Section OK !!!

STEEL DESIGN

CODE: *ABNT NBR 8800:2008 An Brazilian National Standard, Jan 12, 2013*

ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 312 Barra simples_312

POINT: 3 **COORDINATE:** x = 1.00 L

=

6.00 m

LOADS:

Governing Load Case: 1 DL1

MATERIAL:

AÇO Fy = 255.00 MPa Fu = 255.00 MPa E = 210000.00 MPa



SECTION PARAMETERS: W 8x18

d=20.7 cm	Ay=22.35 cm ²	Az=12.08 cm ²	Ax=33.94 cm ²
bf=13.3 cm	Iy=2576.47 cm ⁴	Iz=331.74 cm ⁴	J=7.16 cm ⁴
tw=0.6 cm	Sy=249.23 cm ³	Sz=49.75 cm ³	
tf=0.8 cm	Zy=278.58 cm ³	Zz=76.36 cm ³	

MEMBER PARAMETERS:



Lcy = 6.00 m

Lcz = 6.00 m

Ky = 1.00

Kz = 1.00

Lb = 6.00 m

Xy = 0.78

Xz = 0.19

Cb = 1.00

INTERNAL FORCES:

T,Sd = -0.00 kN*m

tauTy,Sd = 0.00 MPa

tauTz,Sd = 0.00 MPa

Nc,Sd = 0.01 kN

My,Sd = -1.54 kN*m

Mz,Sd = -0.01 kN*m

Vy,Sd = 0.00 kN

Vz,Sd = -1.57 kN

DESIGN STRENGTHS

Nc,Rd = 152.27 kN

My,Rd = 34.79 kN*m

Mz,Rd = 17.30 kN*m

Vy,Rd = 310.93 kN

Vz,Rd = 168.00 kN

SAFETY FACTORS

ga2 = 1.35

ga1 = 1.10

SECTION ELEMENTS:

Flange = Compact

Web = Compact

VERIFICATION FORMULAS:

$N_{c,Sd}/(2*N_{c,Rd}) + M_{y,Sd}/M_{y,Rd} + M_{z,Sd}/M_{z,Rd} = 0.04 < 1.00$ (5.5.1.2.b) Verified

$V_{y,Sd}/V_{y,Rd} + \tau_{Ty,Sd}/(0.6*F_y/ga1) = 0.00 < 1.00$ (5.4.3) Verified

$V_{z,Sd}/V_{z,Rd} + \tau_{Tz,Sd}/(0.6*F_y/ga1) = 0.01 < 1.00$ (5.4.3) Verified

$L_{cy}/r_y = 68.86 < (L_c/r)_{max} = 200.00$ $L_{cz}/r_z = 191.90 < (L_c/r)_{max} = 200.00$ STABLE

Section OK !!!

4.7.4 Interpretação Dos Resultados Obtidos

4.7.4.1 Ações De Projeto Governantes

A análise revelou que a ação do vento (WIND1) foi a principal solicitante em grande parte dos elementos estruturais. Isso demonstra que o comportamento global da estrutura é condicionado principalmente aos esforços horizontais, reforçando a necessidade de um sistema de contraventamento eficiente. Em alguns membros, observou-se que as cargas permanentes foram críticas, porém com baixos níveis de solicitação, o que confirma que a estrutura encontra-se sob regime de segurança elevado frente a estas ações.

4.7.4.2 Resultados Por Elementos Estruturais

4.7.4.2.1 Perfis W14×90

Os membros dimensionados com perfis W14×90 apresentaram índices de utilização extremamente baixos, variando entre 0,01 e 0,09 para as combinações críticas. Esses valores indicam ampla margem de segurança frente à capacidade resistente. As esbeltezes calculadas ($L_{cy}/r_y \approx 51$ e $L_{cz}/r_z \approx 85$) estão muito abaixo do limite normativo (300), garantindo estabilidade global sob compressão. O comprimento sem travamento lateral considerado ($L_b = 8,00$ m) mostrou-se compatível com a não ocorrência de flambagem lateral por torção, consolidando o desempenho satisfatório do elemento.

4.7.4.2.2 Perfis W8×18

Nos membros em W8×18, as combinações de vento e carga permanente foram as mais relevantes, resultando em índices de interação de até 0,18, ainda muito inferiores ao limite normativo. A resistência plástica à flexão ($M_{y,Rd} \approx 34,8$ kN·m e $M_{z,Rd} \approx 17,3$ kN·m) supera com folga os esforços atuantes. As esbeltezes calculadas ($L_{cy}/r_y \approx 69$ e $L_{cz}/r_z \approx 192$) permaneceram abaixo do valor limite de 200–300, classificando os membros como estáveis e demonstrando desempenho satisfatório em compressão.

4.7.4.2.3 Perfis W18×97

Os membros em W18×97 foram majoritariamente solicitados por cargas permanentes (DL2), apresentando índices de interação da ordem de 0,03, evidenciando baixa solicitação. A resistência axial ($N_c, R_d \approx 1687$ kN) mostrou-se amplamente superior ao esforço solicitante ($N_c, S_d \approx 26$ kN), confirmando que a compressão não é governante. As esbeltezes ($L_{cy}/r_y \approx 45$ e $L_{cz}/r_z \approx 134$) se mantiveram abaixo do limite de 200, assegurando a estabilidade e o desempenho seguro do elemento.

4.7.4.3 Estabilidade Global E Travamento Lateral

Os comprimentos de flambagem verificados indicaram que todos os membros atenderam aos limites normativos de esbeltez, confirmando estabilidade global adequada. O comprimento sem travamento lateral variou entre 6,00 m e 9,05 m, valores compatíveis com os parâmetros de projeto. Ainda que a análise não tenha indicado riscos significativos de flambagem lateral por torção, recomenda-se, em projeto executivo, a previsão de travamentos laterais adicionais, como contraventamentos horizontais e ligações diafragma, garantindo que os valores de L_b considerados em cálculo sejam efetivamente atendidos em campo.

4.7.4.4 Interpretação Global Dos Resultados

A avaliação integrada demonstrou que todos os membros apresentaram índices de utilização inferiores a 20%, tanto para esforços combinados ($N-M_y-M_z$) quanto para cisalhamento. Essa condição revela um dimensionamento conservador, com expressiva reserva de capacidade para ações excepcionais, variações de carregamento e possíveis imperfeições geométricas durante a execução. A predominância da ação do vento como solicitante principal reforça a necessidade de um sistema de contraventamento eficaz, enquanto as baixas solicitações por cargas gravitacionais indicam robustez do arranjo estrutural.

Os resultados do dimensionamento comprovam que a estrutura metálica proposta apresenta desempenho plenamente satisfatório, atendendo com folga às exigências normativas de resistência e estabilidade. A estrutura encontra-se

dimensionada com elevado nível de segurança, sendo capaz de suportar com robustez as solicitações atuantes, sobretudo as provenientes da ação do vento.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo principal o desenvolvimento e análise das premissas para um modelo de projeto executivo para um galpão industrial destinado à produção de ração bovina a granel, com foco na eficiência energética. Ao longo da pesquisa, foram abordados aspectos técnicos, arquitetônicos e normativos para a concepção de uma planta industrial segura e eficiente, conforme exigências do setor agroindustrial.

A investigação partiu da compreensão das necessidades específicas da indústria de ração e avançou na elaboração de um projeto arquitetônico alinhado às exigências funcionais do processo produtivo. Foram incorporadas estratégias construtivas e tecnológicas compatíveis com os padrões atuais de eficiência energética, durabilidade e desempenho, ao mesmo tempo em que se garantiu a conformidade com as normas técnicas e regulatórias aplicáveis. Essa abordagem integrada permitiu não apenas uma visão sistêmica do empreendimento, mas também a proposição de soluções práticas e replicáveis.

Os resultados obtidos evidenciam a relevância de um planejamento detalhado e multidisciplinar para a criação de espaços industriais eficientes e sustentáveis. O modelo apresentado contempla toda a linha de produção – desde a recepção dos insumos até o armazenamento do produto final – com estratégias projetuais que favorecem a eficiência energética e a economia de recursos, como a ventilação cruzada, iluminação natural e isolamento térmico. A análise climática da cidade de São Paulo através do software Climate Consultant 6.0 forneceu subsídios técnicos importantes para a definição dessas soluções, demonstrando sua aplicabilidade em regiões de clima subtropical úmido.

Para futuras pesquisas, recomenda-se o aprofundamento em análises quantitativas do desempenho energético do projeto por meio de simulações computacionais. Seria igualmente enriquecedor explorar a adaptação do modelo proposto para diferentes contextos regionais, contribuindo assim para a ampliação de soluções industriais sustentáveis no Brasil.

REFERÊNCIAS

ABIEC - Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne. (2021). **Relatório anual 2020**. Disponível em: <https://www.abiec.com.br>. Acesso em: 10 mai. 2025.

ABNT. **NBR 10844:1989 – Instalações prediais de águas pluviais**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1989.

ABNT. **NBR 13531: Elaboração de projetos de edificações - Atividades técnicas**. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 1995.

ABNT. **NBR 14039:2021 – Instalações elétricas de média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2021.

ABNT. **NBR 15527:2007 – Água de chuva — Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis — Requisitos**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2007.

ABNT. **NBR 16229:2013 – Alimentos para animais – Boas práticas de fabricação (BPF)**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2013.

ABNT. **NBR 16401-1: Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários – Parte 1: Projetos das instalações térmicas**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2008.

ABNT. **NBR 5410:2004 – Instalações elétricas de baixa tensão**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004.

ABNT. **NBR 5419-1 a 4:2015 – Proteção contra descargas atmosféricas**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2015.

ABNT. **NBR 5626:2020 – Instalação predial de água fria — Projeto, execução, operação e manutenção**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2020.

ABNT. **NBR 6118:2023 — Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2023.

ABNT. **NBR 8160:1999 – Sistemas prediais de esgoto sanitário — Projeto e execução**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1999.

ABNT. **NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**.

ABNT. **NBR ISO/CIE 8995-1:2013 – Iluminação de ambientes de trabalho – Parte 1: Interior**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2013.

ABNT. **NBR ISO 22000: Sistemas de gestão da segurança de alimentos – Requisitos para qualquer organização na cadeia produtiva de alimentos**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2006.

ABNT. **NBR NM 247-3:2007 – Cabos de potência isolados com material extrudado para tensões até 450/750 V – Parte 3: Cabos unipolares para instalações fixas.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2007.

ALMEIDA, João P. **Sustentabilidade em Projetos Industriais: Conceitos e Aplicações.** Revista Engenharia e Sustentabilidade, v. 12, n. 2, p. 34-49, 2021.

American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE). (2019). **ASAE EP 486.2: Design and Management of Storages for Bulk, High-Moisture Commodities.** St. Joseph, MI: ASABE.

AUTODESK. **Robot Structural Analysis Professional.** Versão 2025. São Rafael: Autodesk Inc., 2025. Software.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 101, de 24 de dezembro de 2020.** Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 2020.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 4, de 23 de fevereiro de 2007.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 27 fev. 2007.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 4, de 23 de fevereiro de 2007.** Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 2007.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 65, de 10 de dezembro de 2020.** Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 2020.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 88, de 26 de março de 2021.** Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 2021.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Manual de Instalações Hidrossanitárias: Diretrizes técnicas para projetos em edificações públicas e privadas.** Brasília: MCidades, 2013.

Clima, condições meteorológicas e temperatura média por mês de São Paulo (São Paulo, Brasil) - Weather Spark. Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/y/30268/Clima-caracter%C3%ADstico-em-S%C3%A3o-Paulo-Brasil-durante-o-a-no/>. Acesso em: 13 jul. 2025.

CLIMATE CONSULTANT 6.0. Disponível em: <https://www.sbse.org/resources/climate-consultant>. Acesso em: 13 Jul. 2025.

CREMONESE, Cássio. **O Papel do Projeto Executivo na Qualidade e Eficiência das Obras.** Engenharia de Produção, vol. 22, n. 1, 2017.

ENERGYPLUS. Weather Data – São Paulo. Disponível em: <https://energyplus.net/weather-search/Sao%20Paulo>. Acesso em: 13 jul. 2025.

FAO. **Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.** Manual de buenas prácticas de alimentación animal. Roma, 2020.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2011). **Livestock Feed Resources within Integrated Farming Systems**. Rome: FAO.

FURTADO, Y. **Lanternim O Que é ?**. Disponível em: <<https://venezianasindustriais.com.br/lanternim-o-que-e/>>. Acesso em: 1 jun. 2025.

GHIRARDELLI, João. **Projeto Executivo na Construção Civil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

GRUPO MB. **Iluminação zenital: tipos e vantagens para a indústria**. Disponível em: <<https://grupomb.ind.br/iluminacao-zenital/>>. Acesso em: 1 jun. 2025.

GUIMARÃES, Paulo. **Projeto Executivo em Obras Públicas: Desafios e Soluções**. São Paulo: Blucher, 2020.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2020). **Pesquisa Pecuária Municipal 2020**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 10 mai. 2025.

ISO. Organização Internacional de Normalização. **Norma ISO 14001:2015 - Sistemas de Gestão Ambiental: Requisitos com Orientação para Uso**. Genebra: ISO, 2015.

LIMA, Eduardo F.; FREITAS, Mariana R. **Gestão Sustentável de Resíduos e Recursos Hídricos na Indústria de Ração Animal**. Revista Brasileira de Gestão Ambiental, v. 8, n. 1, p. 101-120, 2019.

Manual Técnico de Estruturas Metálicas. (2015). **Guia de Projeto e Construção de Galpões Industriais**. São Paulo: Editora Pini.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Coordenação-Geral de Alimentação Animal (CGPA)**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-pecuarios/alimentacao-animal>. Acesso em: 16 jul. 2025.

MARTINS, José A.; OLIVEIRA, Felipe. **Processos de Fabricação de Ração: Eficiência e Qualidade na Produção Animal**. Revista Agropecuária, v. 35, n. 4, p. 245-260, 2020.

MENDES, Carlos A.; OLIVEIRA, Flávia T. **Ventilação e Eficiência Energética em Galpões Industriais: Estudo de Caso em Fábricas de Ração**. Revista de Tecnologia e Sustentabilidade, v. 10, n. 3, p. 77-90, 2018.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. (2020). **Indicadores de exportação de carne bovina**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura>. Acesso em: 10 mai. 2025

MOREIRA, André; SOUZA, Fernando. **Manual Prático de Projetos Executivos**. Rio de Janeiro: LTC, 2019.

OLIVEIRA, Pedro S.; LIMA, Ricardo M. **Análise de Viabilidade Econômica para Projetos Industriais**. Revista Brasileira de Engenharia e Gestão, v. 8, n. 2, p.

89-102, 2021.

PEREIRA, Ana L.; LOPES, Bruno S. **Tecnologias Aplicadas na Produção de Ração para Bovinos: Processos e Inovações**. Ciência Animal Brasileira, v. 20, n. 1, p. 55-72, 2019.

PINHEIRO, Sergio Luiz; COELHO, Solange Cristina. **Instalações Hidrossanitárias: Princípios e Prática para Projeto e Execução**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2020.

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **Manual de lançamento de efluentes não domésticos na rede coletora de esgotos**. São Paulo, última versão disponível.

SANTOS, A. C.; PEREIRA, M. A.; CORRÊA, J. R. **Infraestrutura para produção e armazenagem de grãos**. In: Embrapa Milho e Sorgo. Documentos 154. Sete Lagoas: Embrapa, 2014.

SANTOS, Lucas R. **Financiamento e Leasing no Setor Industrial: Modelos e Aplicações**. Revista de Economia e Investimentos, v. 9, n. 1, p. 37-50, 2022.

SANTOS, Maria F.; FERREIRA, Rafael J.; COSTA, Renata M. **Princípios e Práticas na Fabricação de Ração: Otimização do Processo para Melhorar a Qualidade e Segurança Alimentar**. Revista de Nutrição Animal, v. 17, n. 3, p. 33-45, 2018.

SILVA, Carlos A.; SOUZA, Marcia T. **Estrutura e Custo de Construção de Galpões Industriais: Aspectos Técnicos e Econômicos**. Revista Engenharia e Construção, v. 11, n. 2, p. 67-82, 2019.

SILVA, Cláudio A.; PIRES, Lucas G. **Matérias-Primas e Controle de Qualidade na Fabricação de Ração Bovina**. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 46, n. 1, p. 115-127, 2017.

SILVA, Ricardo M. et al. **Painéis Fotovoltaicos em Galpões de Produção: Sustentabilidade e Redução de Custos Energéticos**. Revista Energia Renovável, v. 7, n. 2, p. 115-130, 2020.