

Revista Eletrônica

AeroDesign

Magazine



Volume 18 - Número 1 – 2026

ISSN - 2177-5907

Equilíbrio de Cargas em Sistemas Automatizados de Elevação: Desenvolvimento de Sistema com Sensores para Detecção de Desequilíbrio.

Fabio Wang Jia Yeng
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
fabio.veng@aluno.ifsp.edu.br

Renan Gabriel Aleixo Matheus
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
renan.aleixo@aluno.ifsp.edu.br

Resumo

Os elevadores de carga são equipamentos fundamentais para a movimentação de materiais em ambientes industriais, logísticos e na construção civil. Apesar dos avanços tecnológicos e das normas de segurança que regulamentam sua utilização, muitos sistemas ainda não possuem mecanismos eficientes para verificar o equilíbrio da carga sobre a plataforma de elevação. A distribuição desigual de peso pode provocar diferenças de tensão nos cabos de aço, aumentando o desgaste dos componentes e reduzindo a vida útil do sistema. Diante disso, este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema automatizado capaz de detectar desequilíbrios de carga em plataformas de elevação. Para isso, será elaborado um algoritmo baseado em princípios de automação e controle, com o objetivo de identificar variações na distribuição de forças e contribuir para o aumento da segurança operacional e da confiabilidade dos elevadores de carga.

Palavras-chave:

Elevadores, Equilíbrio, carga.

Abstract

Cargo elevators are essential equipment for the movement of materials in industrial, logistics, and construction environments. Despite technological advances and safety regulations that govern their use, many systems still lack efficient mechanisms to verify load balance on the lifting platform. Uneven weight distribution can cause differences in tension in the steel cables, increasing component wear and

reducing the system's service life. Therefore, this study proposes the development of an automated system capable of detecting load imbalances on lifting platforms. For this purpose, a safety algorithm based on automation and control principles will be developed to identify variations in force distribution, aiming to improve operational safety and the reliability of cargo elevator systems.

Keywords:

Elevator, Balance, Cargo.

1 - Introdução

Os sistemas de elevação existem há milhares de anos e foram desenvolvidos inicialmente para facilitar o transporte vertical de cargas pesadas. Registros históricos indicam que povos antigos, como os egípcios, utilizavam mecanismos rudimentares baseados na força humana e animal para movimentação de cargas.

Com a Revolução Industrial ocorreram avanços significativos nesses sistemas, principalmente com o uso de motores a vapor e posteriormente com motores elétricos, o que possibilitou maior eficiência e segurança no transporte vertical. O conceito de elevador foi descrito pela primeira vez pelo arquiteto e engenheiro romano Vitruvius no século I a.C., que relatou mecanismos de elevação baseados no uso de contrapesos.

Atualmente, os sistemas de elevação de carga são amplamente utilizados em setores industriais, centros logísticos e na construção civil, sendo fundamentais para a movimentação segura e eficiente de materiais pesados.

De acordo com a NBR 5666, elevador é definido como um aparelho estacionário provido de cabina que se move aproximadamente na vertical entre guias e destinado ao transporte de pessoas ou cargas. Já a NBR 14712 define elevadores de carga como mecanismos destinados ao transporte de pequenas cargas por meio de um carro que se desloca verticalmente em guias.

Entretanto, muitos sistemas de elevadores de carga não possuem mecanismos capazes de verificar o equilíbrio da carga na plataforma de elevação. De acordo com a LKINGROUP, a distribuição inadequada do peso pode provocar diferenças de tensão entre os cabos de tração, resultando em aumento do atrito nas polias e contribuindo para o desgaste prematuro dos componentes do sistema.

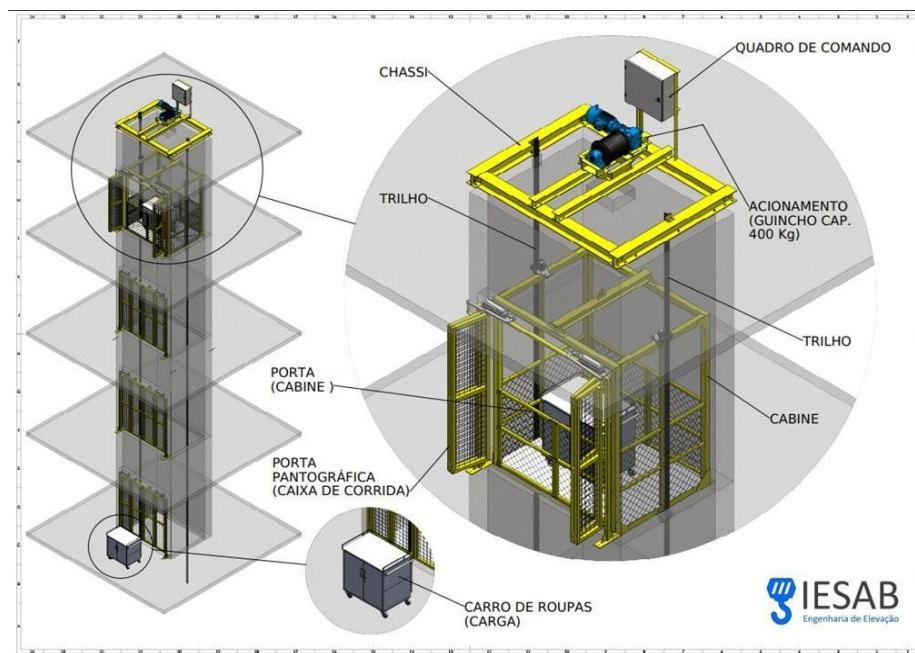


Figura 1 - Componentes principais do elevador de carga IESAB.

Diante desse cenário, torna-se relevante o desenvolvimento de soluções automatizadas capazes de monitorar a distribuição de cargas e identificar situações de desequilíbrio durante a operação do elevador.

1.2 - Problema de Pesquisa

Como desenvolver um sistema automatizado capaz de detectar desequilíbrios de carga em elevadores de carga, permitindo identificar condições inseguras de operação antes do início do movimento do equipamento?

1.3 - Hipótese

A utilização de sensores de célula de carga e sensores de inclinação, associados a um algoritmo baseado em modelo matemático para análise da distribuição de forças na plataforma de elevação, pode identificar desequilíbrios de carga e impedir a operação do elevador em condições inseguras.

1.4 - Objetivo

1.4.1 - Objetivo geral

Desenvolver um sistema automatizado capaz de detectar desequilíbrios de carga em plataformas de elevadores de carga.

1.4.2 - Objetivos específicos

Analisar a distribuição de forças exercidas pelos cabos de aço durante a elevação.

Desenvolver um modelo matemático para identificação de desequilíbrios de carga.

2 - Fundamentação teórica

Na literatura, diversos métodos têm sido propostos para a avaliação de parâmetros em sistemas de elevadores, especialmente no que se refere à determinação do coeficiente de balanceamento, o qual está diretamente relacionado à capacidade de tração do sistema. Abordagens tradicionais baseiam-se na medição de correntes elétricas sob diferentes condições de carga, enquanto métodos mais recentes utilizam sensores de força para determinar diretamente os pesos da cabine e do contrapeso, permitindo o cálculo do coeficiente de equilíbrio de forma mais eficiente. Esses sistemas frequentemente envolvem dispositivos mecânicos e hidráulicos, além da análise estrutural do conjunto de suspensão. Entretanto, tais abordagens diferem do presente trabalho, uma vez que este se fundamenta na utilização de sensores de inclinação, baseados em princípios inerciais, para estimar a orientação da cabine a partir das componentes da aceleração gravitacional (WANG et al., 2015).

Para a análise do equilíbrio de cargas em um sistema automatizado de elevação, serão consideradas grandezas físicas que atuam sobre corpo livre e a plataforma, baseando-se nos princípios da mecânica clássica, especialmente nas leis formuladas pelo físico Isaac Newton.

A análise dinâmica do sistema é realizada por meio da segunda Lei de Newton, a qual descreve que a somatória das forças (F) resultantes sobre um corpo é o produto de sua massa pela força de aceleração a qual se submete.

$$F = m \cdot a \quad (1)$$

Dentre as principais forças simultâneas atuantes sobre um sistema de elevador, contendo a cabine e a carga transportada, são:

Peso (P) : É a força gravitacional exercida sobre um sistema, definido pela seguinte equação.

$$P = m \cdot g \quad (2)$$

Onde m representa a massa total do sistema contendo a massa da carga mais a massa da cabine em kg e g representa a aceleração da gravidade.

Força de tração do cabo (T) : É a força exercida pelo cabo conectado ao motor e a polia responsável pela movimentação da cabine, onde sua atuação depende da situação a qual é submetida.

Subida acelerada $\Rightarrow T > P$.

Velocidade constante $\Rightarrow T = P$.

Descida acelerada $\Rightarrow T < P$.

Força normal (N) : A força normal é uma força de contato exercida por uma superfície sobre um corpo, agindo como uma força de reação à compressão do objeto.

Reações nos trilhos: Os trilhos de transporte da cabine exercem forças laterais (F_1 e F_2), são responsáveis por manter o alinhamento da plataforma durante o movimento vertical, garantindo estabilidade ao sistema.

Modelagem Dinâmica do elevador: A dinâmica do sistema pode ser representado considerando a massa total do elevador, aplicando a segunda lei de Newton no sentido vertical:

$$T - m_{Total} \cdot g = m_{Total} \cdot a \quad (3)$$

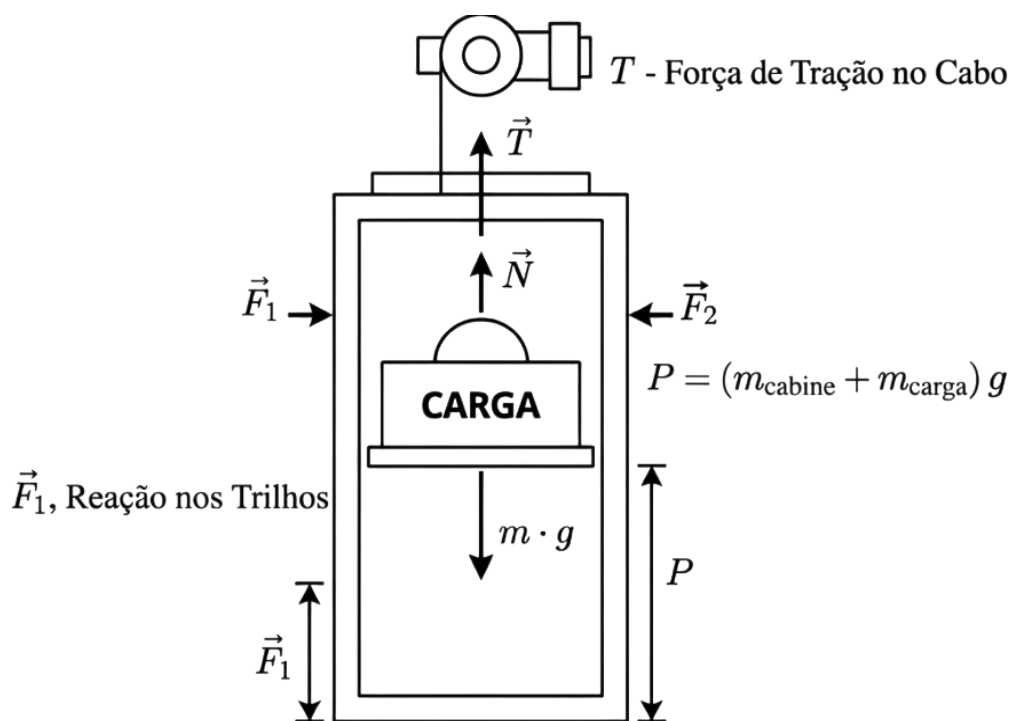


Figura 2 - Diagrama de corpo livre.

3 - Metodologia

A metodologia deste trabalho será baseada em pesquisa bibliográfica e no desenvolvimento de um modelo matemático para análise de desequilíbrio de cargas em plataformas de elevação.

Inicialmente será realizada uma revisão da literatura sobre sistemas de elevação, funcionamento de elevadores de carga, distribuição de forças em cabos de aço e normas técnicas relacionadas à segurança desses equipamentos.

Em seguida será proposto um sistema de monitoramento utilizando sensores de célula de carga para medir a distribuição do peso na plataforma e sensores de inclinação para detectar variações angulares causadas por cargas desbalanceadas.

Com base nesses dados será desenvolvido um algoritmo capaz de calcular a distribuição de forças na estrutura da plataforma e identificar situações de desequilíbrio. Caso seja detectada uma condição insegura, o sistema deverá emitir um alerta ao operador. A análise do funcionamento do sistema será realizada por meio de modelagem matemática e simulação das forças aplicadas durante a operação do elevador.

4 - Componentes do sistema

4.1 - Célula de carga (strain gauge)

É um sensor que opera por meio da conversão de deformações mecânicas em sinais elétricos. Sensores extensométricos (strain gauges), fixados em um corpo metálico elástico, sofrem variações de resistência elétrica quando submetidos a esforços mecânicos.

Essas variações são processadas por um circuito em ponte, geralmente do tipo Ponte de Wheatstone, permitindo a obtenção de um sinal proporcional à carga aplicada. Serão instaladas quatro células de carga em cada ponta da cabine.

Assim, as medições das quatro células de cargas resultam o peso total do chão da cabine, entretanto será possível avaliar a condição do peso total se está dentro do permitido ou não através dos microcontroladores.

$$P_{total} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 \quad (4)$$

Para a medição de carga no sistema, pode-se utilizar células de carga do tipo S (tração/compressão), como o modelo PT4000 com capacidade de 1000 kg. Esse tipo de sensor é amplamente empregado em aplicações industriais, permitindo a medição de forças em cabos e estruturas. Sua saída elétrica é proporcional à carga aplicada, possibilitando a aquisição de dados para análise do comportamento do sistema.



Figura 3 - Célula de carga.

4.2 - Sensor de inclinação(accelerômetro)

A integração de sensores de inclinação ao sistema de monitoramento permite avaliar o comportamento estrutural da cabine em tempo real. Esses sensores são fundamentais para detectar desalinhamentos causados por distribuição desigual de carga, contribuindo para a implementação de estratégias de controle que aumentam a estabilidade, segurança e eficiência operacional do sistema de elevação. O sensor de inclinação selecionado para o desenvolvimento deste trabalho foi o modelo JN2200, da empresa ifm electronic. Trata-se de um inclinômetro de dois eixos (X e Y), baseado em tecnologia MEMS, capaz de medir ângulos em uma faixa de $\pm 180^\circ$. O dispositivo apresenta resolução de $0,05^\circ$ e saída analógica, além de operar em uma faixa de temperatura de -40°C a 85°C , características que o tornam adequado para aplicações em ambientes industriais.



Figura 4 - Sensor de inclinação.

4.3 - Microcontrolador ESP32

Um microcontrolador de alto desempenho desenvolvido pela Espressif Systems, projetado para aplicações em sistemas embarcados, automação e dispositivos conectados à Internet das Coisas (IoT). O dispositivo integra, em um único circuito integrado, capacidade de processamento, comunicação sem fio e diversos periféricos, o que o torna uma solução eficiente para projetos que exigem conectividade e baixo consumo de energia. Arquiteturalmente será utilizado como forma de controlar, receber os dados recebidos dos sensores e filtrar os dados.

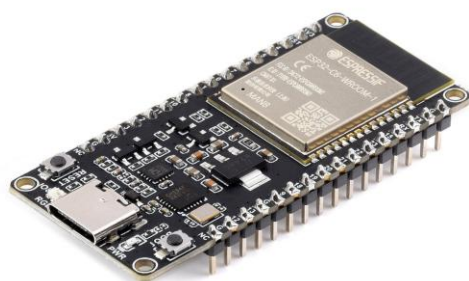


Figura 5 - Microcontrolador ESP 32.

4.4 - Display LCD/TFT

O display LCD/TFT (*Thin-Film Transistor Liquid Crystal Display*) são dispositivos eletro-ópticos amplamente utilizados em sistemas embarcados para apresentação de informações visuais, baseando-se na modulação da luz por cristais líquidos sob ação de um campo elétrico. Em aplicações com microcontroladores, como o ESP32, esses displays são empregados para estados operacionais, devido ao seu baixo consumo energético e relativa simplicidade de integração. No modelo proposto, o display será responsável pela comunicação visual com o operador, indicando, após a análise dos dados, se o elevador está apto ou não a prosseguir com o deslocamento da carga ao longo dos trilhos.

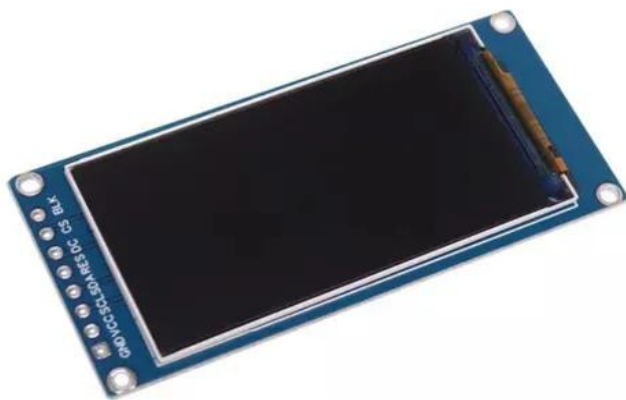


Figura 6 - Display LCD/TFT.

4.5 - Módulo Conversor HX711

O HX711 é um circuito integrado dedicado à aquisição de sinais provenientes de células de carga, amplamente utilizado em sistemas de pesagem eletrônica. Trata-se de um conversor analógico-digital (ADC) de 24 bits com amplificador de ganho programável integrado, projetado para converter sinais analógicos de baixa amplitude — tipicamente na faixa de microvolts — em dados digitais de alta resolução.

Permitindo a leitura precisa de sensores baseados em células de cargas(strain gauges), e incorporando mecanismos internos de rejeição de ruído, como filtragem digital e supressão de interferências da rede elétrica. Sua comunicação com microcontroladores ocorre por meio de uma interface serial síncrona simplificada, o que possibilita sua integração com plataformas embarcadas, como o ESP32, em aplicações de monitoramento e controle em tempo real.

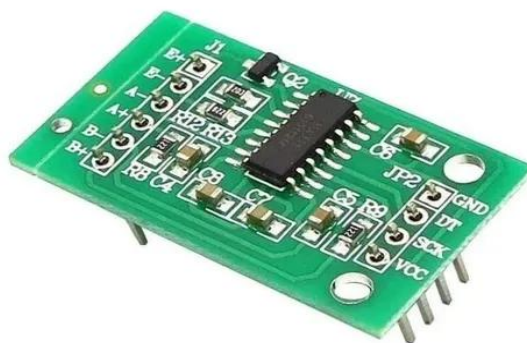


Figura 7 - módulo HX711.

4.6 - Controladores Lógicos Programáveis(CLP)

Os controladores lógicos programáveis são equipamentos eletrônicos bastante utilizados em automação, formados por circuitos capazes de realizar funções lógicas e aritméticas com os sinais de entrada, gerando sinais de saídas, de acordo com a lógica pré definida. O princípio de funcionamento dos CLP's baseia-se na sua programação, uma sequência de comandos organizada de forma lógica que define as ações a serem realizadas conforme o algoritmo criado previamente. Ao mudar ou incrementar a programação, obtém-se novas respostas (saídas) às entradas aplicadas. Nesse caso, o CLP será responsável por receber sinais de comando do ESP32, acionar motores e ajustar a potência junto com inversor de frequência dependendo da carga na cabine.



Figura 8 - Controlador Lógico Programável Siemens.

4.7 - Algoritmo

Após a coleta dos dados pertinentes ao controle de equilíbrio de uma plataforma de elevação automatizada, um algoritmo matemático é responsável por processar essas informações e realizar os cálculos necessários para avaliar as condições operacionais do sistema.

Para a correta modelagem do sistema, serão apresentadas, a seguir, as fórmulas matemáticas utilizadas pelo algoritmo, responsáveis pelos cálculos de distribuição de carga, centro de massa, inclinação, torque e controle do sistema.

A partir desses cálculos, o sistema verifica se o elevador está apto a operar sem comprometer o nivelamento da plataforma. Essa verificação é fundamental para evitar o desalinhamento das cordas responsáveis pelo tracionamento da cabine, o que poderia ocasionar desgaste irregular dos componentes mecânicos, redução da vida útil do sistema e aumento do risco operacional.

Caso sejam identificadas condições fora dos limites operacionais admissíveis, o algoritmo realizará a detecção de não conformidade a partir dos parâmetros monitorados, tais como distribuição de carga e inclinação da plataforma. Nessas circunstâncias, o sistema emitirá um sinal de alerta ao operador, indicando a necessidade de readequação da carga para restabelecimento das condições de equilíbrio estático.

4.7.1 - Inclinação

Por meio do sensor de inclinação, a variação angular da cabine do elevador pode ser mensurada, sendo essa variável utilizada como indicativo do deslocamento do centro de massa do sistema. Em condições ideais de equilíbrio, a cabine permanece nivelada, de modo que os ângulos de inclinação nos eixos X e Y tendem a zero.

$$\theta_x = \arctan\left(\frac{a_x}{\sqrt{a_y^2 + a_z^2}}\right) \quad (5)$$

$$\theta_y = \arctan\left(\frac{a_y}{\sqrt{a_x^2 + a_z^2}}\right) \quad (6)$$

Entretanto, embora a ausência de inclinação indique uma condição de equilíbrio global, ela não garante, de forma absoluta, uma distribuição perfeitamente uniforme da carga. Quando há distribuição irregular significativa, ocorre o deslocamento do centro de massa, resultando em inclinações detectadas pelo sensor. Nessa situação, o dispositivo realiza a medição simultânea nos eixos X e Y, baseando-se nos princípios da inércia.

4.7.2 - Centro de massa

Para a determinação do equilíbrio, o algoritmo realiza a comparação entre as leituras individuais de cada uma das quatro células de carga (P_1, P_2, P_3, P_4) instaladas nos vértices da cabine. O desequilíbrio é calculado pela diferença relativa de carga entre os eixos opostos da plataforma. Se a variação de peso entre um lado e outro exceder um limite de segurança pré-estabelecido, o sistema identifica que o centro de massa está excessivamente deslocado. Essa análise estática é complementada pelos sensores de inclinação, que confirmam se a estrutura física da cabine sofreu deformação ou inclinação angular antes do acionamento do motor. O posicionamento do centro de massa, após a colocação da carga na plataforma, é calculado pelas seguintes relações matemáticas:

$$X_{cm} = \frac{(P_1 \cdot X_1) + (P_2 \cdot X_2) + (P_3 \cdot X_3) + (P_4 \cdot X_4)}{P_{total}} \quad (7)$$

$$Y_{cm} = \frac{(P_1 \cdot Y_1) + (P_2 \cdot Y_2) + (P_3 \cdot Y_3) + (P_4 \cdot Y_4)}{P_{total}} \quad (8)$$

4.8 - Ruídos elétricos

Frequentemente chamados de Interferência Eletromagnética (EMI), são flutuações indesejadas de tensão ou corrente que afetam o funcionamento de dispositivos eletrônicos de baixa potência como ESP32 e display LCD/TFT. Eles podem causar degradação de desempenho, corrupção de dados ou

paradas no funcionamento de equipamentos. Sob presença de motores elétricos, inversores de frequência e cabos de alta potência.

4.8.1 - Formas de reduzir a influência dos ruídos elétricos

Segundo o artigo “EMI – Interferência Eletromagnética”, de César Cassiolato, a mitigação dos efeitos da interferência eletromagnética (EMI) em sistemas eletrônicos pode ser alcançada por meio da adoção de técnicas específicas, tais como o aterramento elétrico adequado, a utilização de blindagens magnéticas e elétricas, a aplicação de filtros, o emprego de isolamento óptico, bem como o uso de dispositivos de proteção elétrica.

5 - Lógica de monitoramento e controle de estabilidade de carga

A eficiência de um sistema de elevação depende não apenas da força de tração vertical, mas principalmente do seu equilíbrio dinâmico. Para garantir uma operação suave, este projeto propõe uma malha de controle inteligente que monitora a distribuição da massa em tempo real. O sistema utiliza quatro células de carga integradas à base da cabine, conectadas a um microcontrolador central. Antes de iniciar qualquer movimento, o algoritmo (conforme o fluxograma apresentado) realiza o cálculo do Centro de Massa (CM).

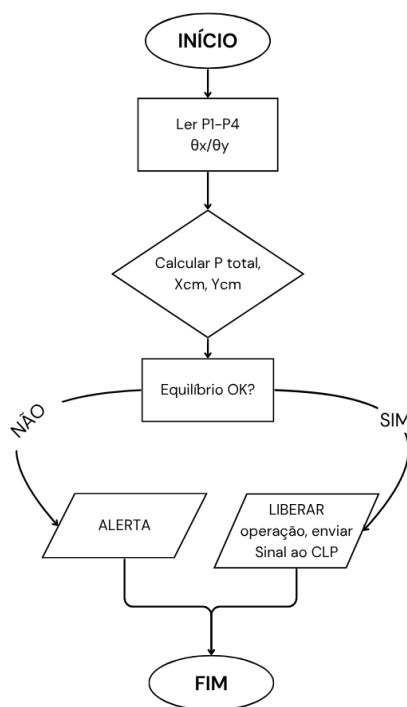


Figura 9 - Fluxograma de funcionamento do algoritmo.

Caso a carga esteja excessivamente deslocada, gerando momentos fletores que elevariam o atrito nos trilhos guia (F_1 e F_2), o sistema solicita o reajuste do peso.

6 - Resultados

Para validar o algoritmo desenvolvido, foram realizados cálculos simulados em quatro cenários de distribuição de carga sobre uma plataforma de 2 m × 2 m. As quatro células de carga foram posicionadas nos vértices com as seguintes coordenadas:

1. P1: (-1 m, 1 m)
2. P2: (1 m, 1 m)
3. P3: (1 m, -1 m)
4. P4: (-1 m, -1 m)

O peso total foi mantido em 1000 kg em todos os casos. Os valores de centro de massa (X_{cm} e Y_{cm}) e a inclinação da plataforma (θ) foram calculados conforme as equações apresentadas na seção 4.7. O limite de segurança adotado foi: $|X_{cm}| \leq 0,15$ m, $|Y_{cm}| \leq 0,15$ m e $\theta \leq 3^\circ$.

Tabela 1: Resultados de casos simulados de distribuição de carga.

Caso	P1 (Kg)	P2 (Kg)	P3 (Kg)	P4 (Kg)	P total (Kg)	X_{cm} (m)	Y_{cm} (m)	θ (°)	Verificação
1 Equilibrado	250	250	250	250	1000	0,000	0,000	0,0	OK
2 Leve Desequilíbrio	300	200	250	250	1000	-0,050	0,000	1,2	OK
3 Desequilíbrio Moderado	380	120	280	220	1000	-0,120	-0,020	2,8	OK
4 Crítico	450	50	350	150	1000	-0,200	-0,050	4,5	ALERTA

Nos casos 1 a 3 o centro de massa permaneceu dentro dos limites aceitáveis e a inclinação foi inferior a 3°. O algoritmo classificou corretamente a carga como “apta para operação”. No cenário 4 o

deslocamento do centro de massa ultrapassou 0,15 m e a inclinação atingiu 4,5°, ativando imediatamente o alerta.

7 - Considerações finais

O presente trabalho cumpriu integralmente o objetivo geral proposto: desenvolver um sistema automatizado capaz de detectar desequilíbrios de carga em plataformas de elevadores de carga por meio da integração de sensores de célula de carga (strain gauge), sensor de inclinação (inclinômetro) e um algoritmo de processamento embarcado no ESP32.

A combinação de quatro células de carga posicionadas nos vértices da plataforma, associada ao cálculo em tempo real do centro de massa e à medição de ângulos de inclinação nos eixos X e Y, permitiu a criação de uma malha de monitoramento inteligente que identifica condições inseguras antes do acionamento do motor. O algoritmo desenvolvido, baseado nas equações de centro de massa e arco tangente da aceleração gravitacional, demonstrou ser capaz de bloquear a operação quando a diferença de carga entre os lados da plataforma ultrapassa o limite de segurança ou quando a inclinação excede 3°.

Em comparação com os métodos tradicionais de medição de corrente ou testes manuais de balanceamento, a solução apresentada apresenta vantagens claras: baixo custo relativo (utilização de componentes comerciais acessíveis), monitoramento contínuo em tempo real, alerta imediato ao operador e possibilidade de integração com CLP.

Como trabalhos futuros, sugere-se a implementação de algoritmos de inteligência artificial (Machine Learning) para previsão de desequilíbrio antes mesmo da carga ser posicionada operando junto com uma integração com sistema de visão computacional para auxiliar na distribuição uniforme da carga, a fim de adquirir a homologação do sistema junto a órgãos certificadores para aplicação comercial.

Em síntese, o sistema aqui desenvolvido representa uma contribuição relevante para a automação e segurança de elevadores de carga, especialmente em indústrias, centros de distribuição e canteiros de obra. Ao permitir a detecção precoce de desequilíbrios, o trabalho contribui diretamente para a redução de acidentes, diminuição de custos de manutenção e aumento da confiabilidade dos equipamentos de elevação.

8 - Referências Bibliográficas

- [1] YU, Jie; ZHANG, Juyong; LI, Chunguang; CHEN, Zhiping; HUANG, Chaoliang. Reliability analysis of freight elevator systems based on FFMEC, FTA and BN. *Engineering Failure Analysis*, 2025.
- [2] MEUELEVADOR. Elevador: saiba tudo sobre esse meio de transporte! Disponível em: <https://meuelevador.com/elevador/>. Acesso em: 7 mar. 2026.

- [3] IESAB – ENGENHARIA DE ELEVAÇÃO. Elevadores de carga. Disponível em: <https://iesab.com.br/elevadores-de-carga/>. Acesso em: 7 mar. 2026.
- [4] ELEVATOR WORLD. An instrument for testing elevator balance coefficient without load. Disponível em: <https://elevatorworld.com/pt/article/an-instrument-for-testing-elevator-balance-coefficient-without-load/>. Acesso em: 12 mar. 2026.
- [5] COMIN, Rodrigo. Desenvolvimento de um sistema de medição de massa utilizando células de carga. 2011. Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011. Disponível em: https://repositoriocopia.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/13698/2/MD_COMIN_2011_2_09.pdf. Acesso em: 14 mar. 2026.
- [6] WANG, Weixiong et al. A wireless sensor network based system for structural health monitoring. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2018. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1550147718805939>. Acesso em: 17 mar. 2026.
- [7] MELO, Pâmella Raphaella. Centro de massa. Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/centro-massa.htm>. Acesso em: 19 mar. 2026.
- [8] (REMOVIDA – fonte inválida/não acadêmica)
- [9] HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. Fundamentos de física. Rio de Janeiro: LTC, 1993.
- [10] SILVA, Rodrigo et al. Procedimento para cálculo experimental da posição do centro de gravidade de veículos rodoviários. *Revista Mecatrone*, 2018. Disponível em: https://revistas.usp.br/mecatrone/pt_BR/article/view/152960/158561. Acesso em: 22 mar. 2026.
- [11] SANTOS, João Victor et al. Sistema de monitoramento de elevadores de carga. Instituto Federal Goiano, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/3674>. Acesso em: 22 mar. 2026.
- [12] RENKE. Inclínometer & tilt sensor: working, types and applications. Disponível em: <https://www.renkeer.com/inclinometer-working-types-and-ap>. Acesso em: 22 mar. 2026.
- [13] CASSIOLATO, C. EMI: interferência eletromagnética. [S.l.: s.n.]. Disponível em: <https://www.profibus.org.br/images/arquivo/pdf-6-543ec6bc451ff.pdf>.
- [14] WANG, Weixiong et al. Innovative balance coefficient testing system for elevators. *Elevator World*, 2015. Disponível em: <https://elevatorworld.com/pt/article/innovative-balance-coefficient-testing-system-for-elevators/>. Acesso em: 22 mar. 2026.
- [15] USINAINFO. Balança Arduino com célula de carga e HX711: tutorial. Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/blog/balanca-arduino-com-celula-de-peso-e-hx711-tutorial-calibrando-e-verificando-peso/>. Acesso em: 22 mar. 2026.