IEPG SUMMIT'25
Pensando o futuro com inteligência artificial e consciência social

DESENVOLVIMENTO DE EMBALAGEM PARA ABACAXIS NO PONTO DE VENDA: INTEGRAÇÃO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL, TRIZ E QFD PARA REDUÇÃO DE PERDAS

Barbara Pereira Rosa Fonseca – d2023013308@unifei.edu.br
João Pedro de Oliveira Dias – jpdias012@live.com
Lucas de Freitas Alves – lucasfreitassalves@gmail.com
Maria Fernanda Barbosa Chaves da Silva – d2023005191@unifei.edu.br
Maria Eduarda Affa Ferreira Eleoterio - d2023011582@unifei.edu.br

Palavras-chave: abacaxi; embalagem, QFD, qualidade, capacidade processo.

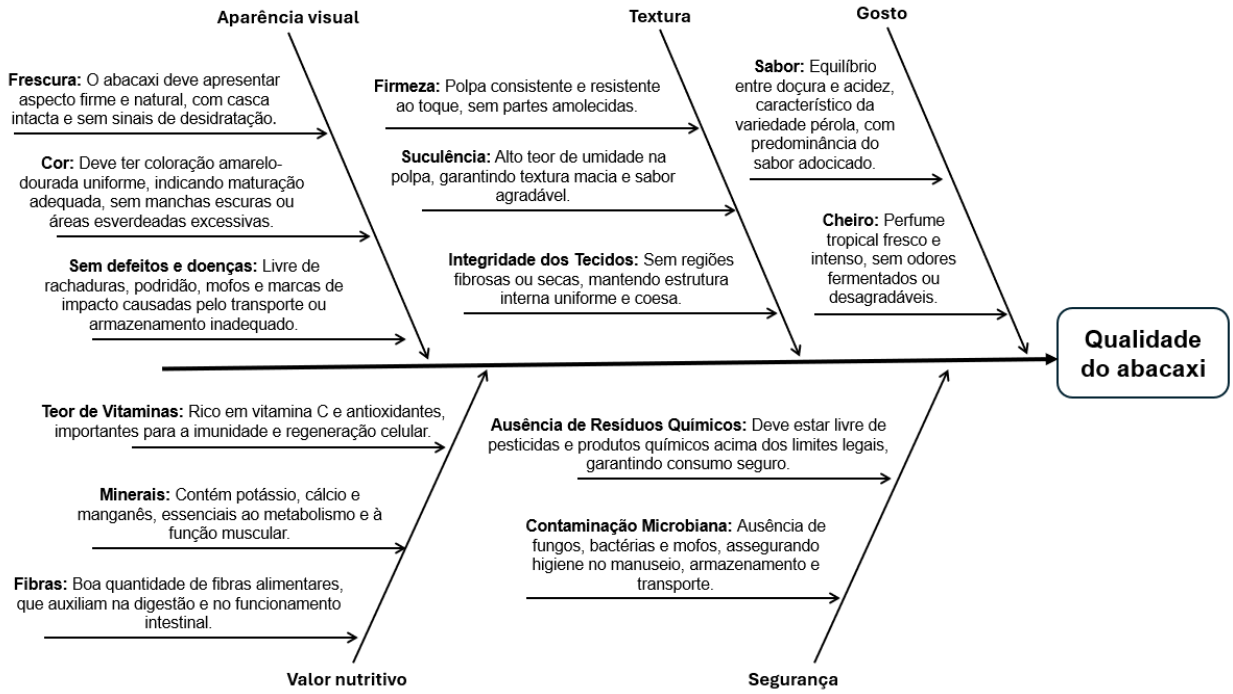
1. INTRODUÇÃO

O abacaxi é uma fruta tropical representativa do Brasil, consumida internamente e com potencial de exportação. A variedade pérola (ou “Smooth Cayenne”) se destaca pelo sabor adocicado e aroma intenso, sendo preferida pelos consumidores brasileiros. Segundo o IBGE (2025), o Brasil é um dos maiores produtores de abacaxi, com produção anual acima de 2 milhões de toneladas, concentrada em Paraíba, Pará, Minas Gerais e Bahia. A cadeia produtiva gera milhares de empregos, desde pequenos produtores até grandes distribuidores.

A variedade pérola apresenta vantagens como sabor suave e ciclo produtivo curto, mas enfrenta desafios no armazenamento e transporte, resultando em perdas pós-colheita de 20% a 30% devido a danos físicos e má ventilação das embalagens. Kader, Ben-Arie e Philosoph-Hadas (2001) afirmam que a qualidade dos frutos é determinada por atributos sensoriais e funcionais. Neste trabalho, a ferramenta GPT-5® foi utilizada para analisar esses atributos no abacaxi pérola, permitindo identificar oportunidades de melhoria na cadeia produtiva. Os resultados iniciais estão sintetizados na Figura 1, que apresenta os principais atributos percebidos pelos consumidores.

FAPEMIG Inatel INSTITUTO FEDERAL Sul de Minas Gerais IEPG Instituto de Engenharia de Produção e Gestão UNIFEI

Figura 1 – Qualidade do abacaxi.



Fonte: Autores.

As perdas do abacaxi pérola no Brasil são altas em comparação a outras frutas tropicais, refletindo a fragilidade do produto durante colheita, transporte e armazenamento. Segundo o IBGE (2025) e a Embrapa Hortaliças (2024), as perdas no campo variam de 10% a 30%, principalmente por manuseio inadequado.

O índice de descarte pode atingir 20% durante a classificação, devido a ferimentos e maturação desigual. No varejo, as perdas médias variam de 15% a 25%, causadas por umidade excessiva e falta de ventilação. Estima-se que 8% a 12% dos frutos sejam comprometidos na embalagem e transporte, resultando em perda de valor comercial.

Esses índices destacam a necessidade de melhorar o acondicionamento do abacaxi pérola, especialmente no varejo, onde a aparência é crucial. A adoção de embalagens adequadas, focadas em ventilação e proteção, pode reduzir desperdícios e aumentar a vida útil do produto. De acordo com Soares et al. (2010), desenvolver embalagens apropriadas é fundamental para minimizar perdas e agregar valor à cadeia produtiva.

2. DESENVOLVIMENTO

A integração da Inteligência Artificial (IA) aos processos de Desenvolvimento de Novos Produtos (DNP) tem se mostrado uma ferramenta estratégica para otimizar decisões de projeto e reduzir ineficiências. No entanto, existem lacunas no uso da IA em etapas como testes de conceito e gestão sistematizada de produtos orientados por dados (Witkowski e Wodecki, 2025). Este trabalho buscou empregar a IA para desenvolver embalagens para o abacaxi pérola, focando na redução de perdas pós-colheita e na melhoria do manuseio e transporte.

A etapa inicial envolveu um levantamento de embalagens utilizadas no varejo, obtidas por meio de pesquisas digitais e observações em hortifrutis locais. O abacaxi apresenta desafios específicos de acondicionamento devido ao seu formato irregular e peso elevado, exigindo soluções que conciliem resistência mecânica, ventilação adequada e sustentabilidade ambiental.

Figura 2 – Embalagens atuais utilizadas para o abacaxi no ponto de venda

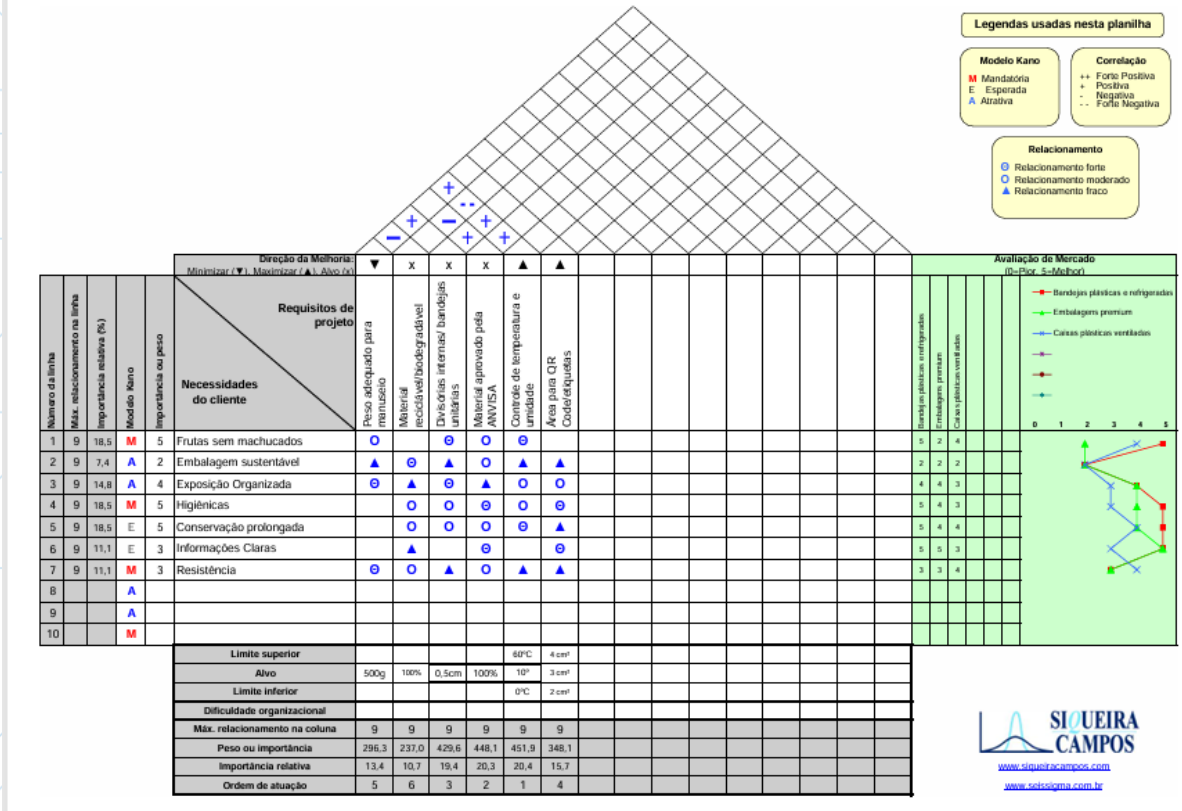
Fonte: Autores.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Utilizando o GPT-5® e a metodologia do Desdobramento da Função Qualidade (QFD), foram identificadas e priorizadas as necessidades dos clientes em relação à embalagem e exposição do abacaxi pérola no varejo. As informações foram coletadas por meio de observações em supermercados, análise de reclamações online e entrevistas com consumidores.

Os resultados mostraram que as principais causas de insatisfação dos consumidores estão ligadas à aparência comprometida e à baixa durabilidade da fruta no ponto de venda. Muitas vezes, o abacaxi é exposto de forma inadequada — diretamente sobre bancas metálicas ou caixas de papelão reaproveitadas, sem ventilação ou refrigeração — resultando em aquecimento da polpa, ressecamento da coroa e fermentação precoce.

Figura 3 – Matriz QFD Casa da Qualidade para embalagem do abacaxi (Matriz I).



Fonte: Autores.

A análise da Matriz I (Casa da Qualidade) permite identificar a priorização dos requisitos de projeto e suas respectivas contradições. Os requisitos de controle de temperatura e ventilação (20,4%), divisórias internas/bandejas (19,4%) e material aprovado pela ANVISA (19,4%) apresentaram as maiores importâncias relativas, confirmando sua influência direta sobre a satisfação do consumidor e a redução das perdas no varejo. A partir dos resultados da matriz, o GPT-5® foi utilizado para gerar uma proposta de embalagem e exposição aprimorada, considerando os requisitos mais críticos, tendo como prompt: “Gerar um mockup fotorrealista de uma embalagem inovadora para o abacaxi pérola. A embalagem deve ser uma caixa plástica ventilada, empilhável, com aberturas laterais para circulação de ar, divisórias internas em papelão reciclado para evitar atrito entre as frutas, tampa transparente com furos de ventilação e espaço para etiqueta ou QR Code de rastreabilidade. O estilo deve ser limpo, realista, com iluminação de estúdio e fundo branco, destacando o produto e a estrutura da embalagem.”

A partir desse direcionamento, foram obtidos diferentes conceitos visuais, avaliados quanto à ventilação, resistência, empilhamento e aproveitamento de espaço interno (Tabela 1). O modelo inicial apresentou problemas de funcionalidade e excesso de material, sendo aprimorado para um formato modular, ventilado e empilhável, com divisórias internas reposicionadas e reforços nas áreas críticas.

Tabela 1 – Concepções geradas pelo GPT 5.0 ® para a embalagem do abacaxi no ponto de venda.

Modelo icônico da concepção	Descrição
	Esta imagem gerada embora apresentasse boa resistência mecânica, o design era fechado e pouco ventilado, o que poderia favorecer o acúmulo de umidade e o aquecimento da fruta no ponto de venda. Além disso, a estrutura utilizava excesso de material plástico, dificultando o empilhamento e o descarte sustentável.

Modelo icônico da concepção	Descrição
	Esta imagem gerada possui falhas funcionais importantes. O material do suporte, por ser de papelão simples, apresenta baixa resistência à umidade, comprometendo sua durabilidade durante o uso contínuo em supermercados.

A embalagem desenvolvida para o abacaxi pérola é uma caixa plástica ventilada e empilhável, projetada para uso em supermercados. Seu design combina ventilação eficiente, resistência mecânica e sustentabilidade, garantindo a integridade das frutas e melhorando a apresentação no varejo.

Fabricada em polipropileno (PP) reciclado, com divisória central em papelão kraft reciclado, a estrutura separa os frutos e reduz o atrito. As aberturas laterais e inferiores permitem ventilação contínua e drenagem, prevenindo umidade e prolongando a conservação.

As dimensões da caixa são adequadas ao tamanho médio do abacaxi pérola:

- Comprimento interno: 75 - 80 cm
- Largura interna: 75 - 80 cm
- Altura útil interna: 44 cm
- Espessura média das paredes: 2,5 mm
- Peso estimado: 480 g

Essa configuração acomoda até quatro abacaxis por caixa, com folga lateral para ventilação. O design modular permite empilhamento vertical de até 4 unidades sem deformação.

Além disso, a embalagem possui uma área para QR Code, que fornece informações sobre procedência e recomendações de descarte. O material é 100% reciclável, e o custo unitário estimado varia entre R$ 4,00 e R$ 5,00.

Figura 4 – Concepção final gerada pelo GPT-5.0 ® para a embalagem do abacaxi pérola no ponto de venda.

1. Dimensões principais da bandeja (Estimativa para 4 abacaxis, θ – 365 mm cada)
   - Comprimento interno: 750 mm.
   - Largura interna: 750 mm.
   - Altura útil interna: 440 mm.
   - Espessura do papelão corrugado (dupla onda): 6 mm
2. Compartimentos internos
   - Cada célula para abacaxi: 385 mm × 385 mm
   - Altura das divisórias internas: 420 mm (2 cm abaixo da altura útil interna para permitir encaixe da tampa / filme e circulação).
   - Material das divisórias: papelão corrugado simples ou dupla onda conforme necessidade de rigidez
3. Perfurações Laterais (Ventilação)
   - Diâmetro dos furos: 10 mm ±1 mm.
   - Distribuição: 8 a 12 furos por face lateral e 6 a 8 na face superior inferior para ventilação transversal.
4. Reforços e travas para empilhamento
   - Reforço das bordas: camada dupla de papelão nas bordas com espessura total adicional +6 mm
   - Folga vertical entre bandejas empilhadas: mínimo 20 mm entre o topo do fruto da bandeja inferior e a base da bandeja superior (para proteger coroas e permitir circulação).
   - Capacidade de empilhamento: projetar para até 3 bandejas empilhadas cheias

Fonte: Autores.

Para avaliar a variabilidade dimensional dos abacaxis pérola e a adequação da embalagem, foram analisados dois parâmetros: altura e diâmetro. Essas dimensões afetam a compatibilidade entre o produto e a embalagem, pois diferenças excessivas podem causar folgas ou compressões, resultando em danos ou perda de eficiência logística.

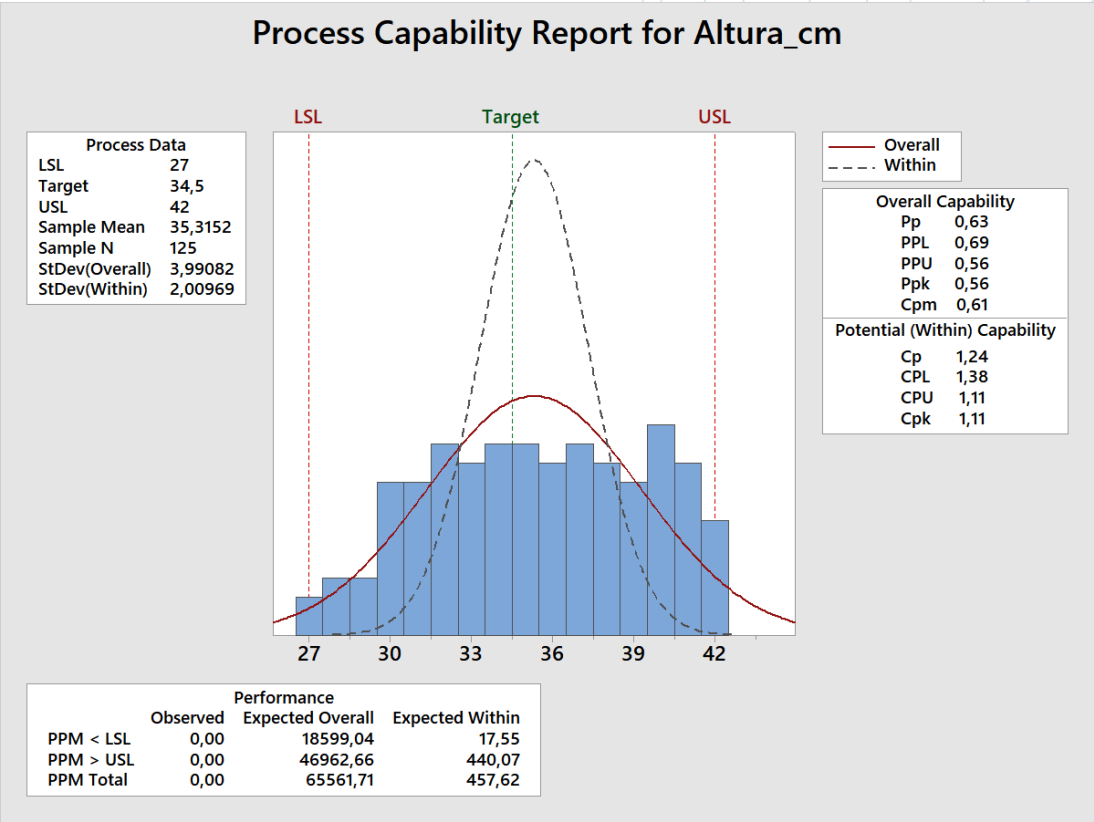
As medições foram realizadas em 125 amostras de abacaxis coletadas em um hortifruti local, utilizando o software Minitab para analisar os índices de capacidade de processo (Cp e Cpk).

Parâmetro 1 – Altura (cm)

- Limite inferior de especificação (LSL): 27 cm
- Limite superior de especificação (USL): 42 cm
- Média amostral: 35,32 cm
- Desvio-padrão: 2,01 cm
- Cp: 1,24
- Cpk: 1,11

O valor de Cpk = 1,11 indica boa capacidade do processo, com a maioria dos abacaxis dentro dos limites de 27 a 42 cm. No entanto, a média ligeiramente acima do alvo de 34,5 cm sugere que alguns frutos são mais altos, recomendando-se um espaço de folga vertical na embalagem para evitar compressão e danos.

Figura 5 - Capacidade do processo do parâmetro Altura considerando as medidas existentes do hortifruti nos Supermercados BH, Alvorada e ABC.



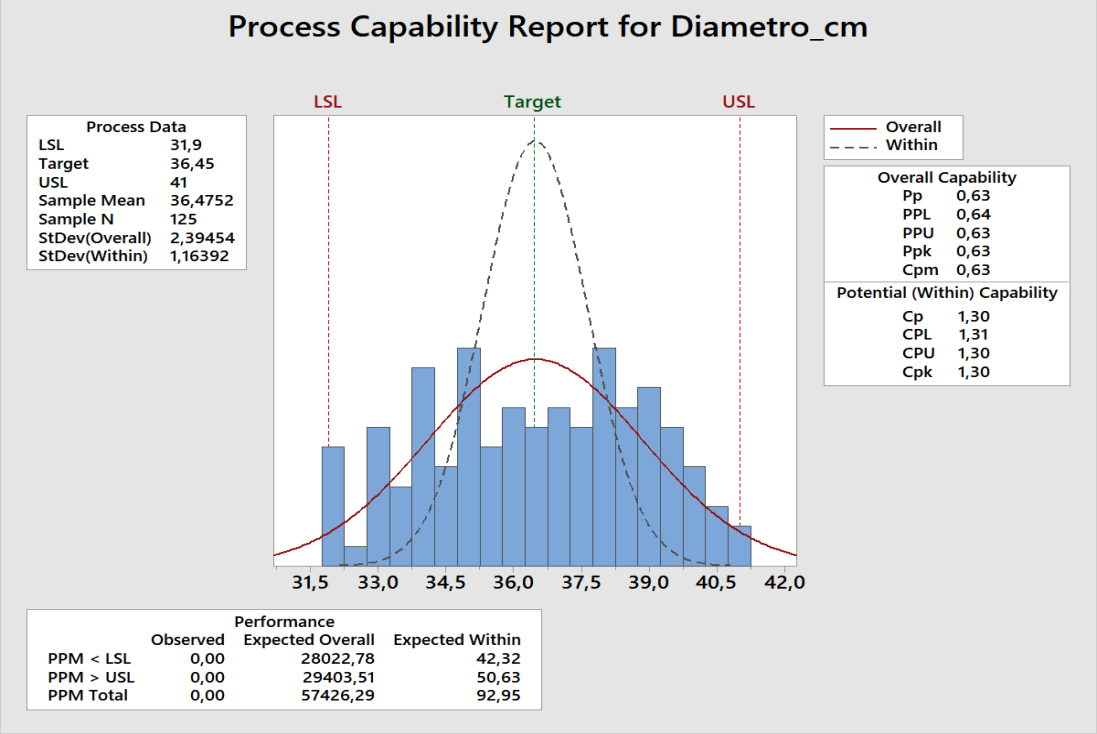
Fonte: Autores.

Parâmetro 2 – Diâmetro (cm)

- Limite inferior de especificação (LSL): 31,9 cm
- Limite superior de especificação (USL): 41 cm
- Média amostral: 36,48 cm
- Desvio-padrão dentro do processo: 1,16 cm
- Cp: 1,30
- Cpk: 1,30

Para o diâmetro, o processo apresenta Cpk = 1,30, valor que indica excelente capacidade. O processo está bem centrado em relação ao valor-alvo (36,45 cm), com mínima dispersão e praticamente todas as medições dentro dos limites de especificação. Essa estabilidade dimensional assegura que os frutos possam ser acomodados de forma segura e uniforme, maximizando o aproveitamento do espaço interno da embalagem e garantindo ventilação adequada entre as unidades.

Figura 6 – Capacidade do processo do parâmetro Diâmetro considerando as medidas existentes do hortifruti nos Supermercados BH, Alvorada e ABC.



Fonte: Autores.

Os índices obtidos mostram que a embalagem possui dimensões adequadas para o abacaxi pérola, garantindo compatibilidade física. Com valores de Cpk superiores a 1,0, o processo de seleção e classificação respeita os padrões de controle dimensional, assegurando consistência nas medidas. Esses resultados

evidenciam a eficácia do projeto em acomodar diferentes tamanhos de frutos, mantendo a integridade e eficiência logística. Além disso, ressaltam a importância de critérios rigorosos de seleção para minimizar perdas. A análise de capacidade de processo confirma que a embalagem é viável e eficiente, garantindo um encaixe seguro e contribuindo para a durabilidade e qualidade do produto.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho combina teoria e prática das disciplinas de Qualidade e Desenvolvimento de Produto, focando no abacaxi pérola no ponto de venda. Utilizando as metodologias QFD, TRIZ e Inteligência Artificial (GPT-5), propôs-se uma embalagem inovadora para reduzir perdas, otimizar o manuseio e aumentar a durabilidade do fruto.

As principais conclusões incluem:

- Redução de Perdas: A embalagem ventilada em polipropileno reciclado, com divisórias em papelão kraft, diminui danos e melhora a ventilação, reduzindo perdas entre 15% e 25%.
- Uso Integrado de IA: O GPT-5, junto ao QFD e TRIZ, ajudou a identificar contradições de projeto, mostrando o potencial da IA no desenvolvimento de produtos agrícolas sustentáveis.
- Embalagem Sustentável: A solução proposta é resistente, ventilada e sustentável, com custo acessível (R$4,00 a R$5,00 por unidade) e viabilidade para produção em larga escala.
- Validação Técnica: A análise de capacidade de processo confirmou a adequação dimensional da embalagem ao abacaxi pérola, garantindo segurança no empilhamento e transporte.

Assim, este trabalho avança na engenharia de embalagens de frutas tropicais, oferecendo uma alternativa que une qualidade, funcionalidade e responsabilidade ambiental, impactando positivamente a cadeia produtiva do abacaxi.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecimento aos professores do Núcleo de Otimização da Manufatura e Tecnologia da Inovação (NOMATI): Anderson Paulo de Paiva, Juliana Helena Daroz Gaudêncio, Carlos Henrique Pereira Mello e Carlos Eduardo Sanches da Silva.

REFERÊNCIAS

AKAO, Y.; MAZUR, G. H. Quality Function Deployment (QFD): integrating customer requirements into product design. **New York: Productivity Press**, 2004.

ALTSHULLER, G. S. The Innovation Algorithm: TRIZ, systematic innovation and technical creativity. Worcester, MA: **Technical Innovation Center**, 1999.

EMBRAPA HORTALIÇAS. Perdas pós-colheita em frutas tropicais: causas e estratégias de redução. Brasília: Embrapa, 2024. Disponível em: https://www.embrapa.br/hortalicas

SPRAY, Alan. Securing crop supply through whole crop purchasing. **Product Sustainability Forum**, UNEP, Montreal, Canadá, 2013.

WITKOWSKI, Aron; WODECKI, Andrzej. Where does AI play a major role in the new product development and product management process? **Management Review Quarterly**, p. 1-38, 2025.