



UNIVERSIDADE  
E D U A R D O  
MONDLANE

**FACULDADE DE ENGENHARIA**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

TRABALHO DE LICENCIATURA

**DESENVOLVIMENTO DE UMA FÁBRICA DE CAIXAS  
DE PAPELÃO**

**Autor:**

Kara, Mohamed

**Supervisor:**

Eng° Raúl Reyes Camareno

Maputo, Julho de 2025



UNIVERSIDADE  
E D U A R D O  
MONDLANE

**FACULDADE DE ENGENHARIA**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

TRABALHO DE LICENCIATURA

**DESENVOLVIMENTO DE UMA FÁBRICA DE CAIXAS  
DE PAPELÃO**

*Trabalho de Licenciatura submetido ao Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia, Universidade de Eduardo Mondlane, para efeitos de obtenção de grau de Licenciatura em Engenharia Mecânica.*

**Autor:**

Kara, Mohamed

**Supervisor:**

Eng° Raúl Reyes Camareno

Maputo, Julho de 2025

## TERMO DE ENTREGA DE REALTÓRIO DE TRABALHO DE LICENCIATURA

Declaro que o estudante Mohamed Kara, entregou no dia \_\_\_\_/\_\_\_\_ de 2025 as \_\_\_\_  
cópias do relatório do seu trabalho de licenciatura intitulado: Desenvolvimento de uma  
Fábrica de Caixas de Papelão

Maputo, aos \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2025

---

A Secretaria

## **Dedicatória**

Dedico este trabalho primeiramente à minha família, por todo o amor e apoio incondicional.

À toda comunidade acadêmica da Universidade de Eduardo Mondlane, com um carinho especial à Faculdade de Engenharia e ao inspirador Departamento de Engenharia Mecânica.

E por fim, aos docentes e funcionários do departamento de Engenharia Mecânica, cujos ensinamentos e dedicação foram fundamentais para a conclusão deste trabalho, com especial menção aos que embora não estejam entre nós, continuam presentes através de seu legado e conhecimento. Que as nossas jornadas de aprendizado e descoberta continuem a nos guiar rumo a horizontes ainda mais brilhantes.

## Declaração de honra

Eu, Mohamed Kara, declaro, sob compromisso de honra, que o presente trabalho de licenciatura apresentado com o tema **Desenvolvimento de uma fábrica de caixas de papelão** para o cumprimento dos requisitos para a obtenção da licenciatura em Engenharia Mecânica foi realizado por mim, com base nos recursos que no mesmo se faz a referência.

Maputo, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2025

---

## **Resumo**

O presente trabalho visa o estudo preliminar para a projecção de uma unidade fabril destinada à produção de caixas de papelão ondulado em Moçambique, com enfoque na selecção de equipamentos, definição de requisitos de espaço físico e avaliação económica inicial. Considerando o crescimento da procura por soluções de embalagem sustentáveis e personalizáveis no sector industrial e informal, a proposta contempla a instalação de uma linha de produção eficiente, capaz de responder à variabilidade de formatos e volumes. A metodologia adoptada inclui a análise das características técnicas de equipamentos principais e auxiliares, estimativas de capacidade produtiva, cálculo de custos fixos e variáveis, bem como a simulação de indicadores de viabilidade financeira. Foram ainda consideradas práticas recomendadas em termos de sustentabilidade, normas técnicas relevantes (ISO, ASTM, FEFCO, entre outras) e requisitos funcionais para o bom funcionamento da unidade. O estudo conclui com um conjunto de recomendações para a implementação efectiva do projecto, assegurando um fluxo operacional eficiente e adequado à realidade económica local.

Palavras-chave: Fábrica de caixas, máquinas, papelão

## **Abstract**

This study presents a preliminary assessment for the design of a manufacturing unit dedicated to the production of corrugated cardboard boxes in Mozambique, with a focus on equipment selection, space requirements, and initial economic evaluation. In response to the increasing demand for sustainable and customizable packaging solutions across both industrial and informal sectors, the proposed layout includes an efficient production line capable of adapting to a variety of formats and volumes. The methodology employed involves analysing the technical specifications of both primary and auxiliary equipment, estimating production capacity, calculating fixed and variable costs, and simulating key financial viability indicators. The study also incorporates recommended sustainability practices, relevant technical standards (ISO, ASTM, FEFCO, among others), and functional requirements for optimal factory operations. The project concludes with a set of recommendations to support effective implementation, ensuring streamlined material flow and alignment with the local economic context.

# Índice

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA .....	2
1.2 OBJECTIVO GERAL .....	2
1.3 OBJECTIVOS ESPECÍFICOS.....	2
1.4 METODOLOGIA .....	2
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO .....	3
2.1 BREVE HISTORIAL .....	3
2.2 PAPEL, CARTÃO E PAPELÃO.....	4
2.2.1 Produção do Papel .....	6
2.3 A CAIXA DE PAPELÃO .....	8
2.4 O REVESTIMENTO ( <i>LINERS</i> ).....	8
2.5 A FLAUTA.....	9
2.6 TIPOS E APLICAÇÕES DE FLAUTAS EM PAPELÃO .....	10
2.7 O PROCESSO DE CONVERSÃO .....	12
2.8 FORMATOS PADRÕES .....	14
2.8.1 Dimensões e convenções .....	15
2.9 MÉTODOS DE FECHO DE CAIXAS DE EXPEDIÇÃO AUTORIZADAS PELA REGRA 41 .....	15
2.10 MÁQUINAS UTILIZADAS NO PROCESSO DE CONVERSÃO .....	17
2.10.1 Onduladora .....	17
2.10.2 Máquina de Corte (Guilhotina) .....	18
2.10.3 Máquina de Colar Folhas .....	19
2.10.4 Ranhuradora Excêntrica.....	19
2.10.5 Máquina de Prensagem de Folhas.....	20
2.10.6 Máquina de Colagem (da Junta do Fabricante) .....	21
2.10.7 Máquina de Costura (agrafadora) .....	21
2.10.8 Máquinas de Impressão .....	22
2.10.9 Flexo Dobradeira-Coladeira .....	22
2.10.10 Máquina de Corte e Vinco ( <i>Die-Cutter</i> ).....	24
2.10.11 Empilhadores/Paletizadores .....	25
2.10.12 Máquina de Cintar.....	26
2.11 ADESIVOS.....	27
2.11.1 Adesivo Natural .....	27

2.11.2	Adesivo Sintético .....	27
2.12	TIPOS DE ADESIVOS: MECANISMOS E COMPOSIÇÕES .....	28
2.12.1	Adesivos Quimicamente Reactivos .....	28
2.12.2	Adesivos de Evaporação ou Difusão .....	28
2.12.3	Adesivos de Base Aquosa .....	29
2.13	PREPARAÇÃO DA SUPERFÍCIE .....	29
2.13.1	Controlo da Qualidade da Matéria-Prima .....	30
2.13.2	Tratamento Mecânico e Físico .....	31
2.13.3	Tratamento Químico .....	31
2.14	IMPRESSÃO .....	32
2.14.1	Flexografia .....	32
2.14.2	Impressão <i>Offset</i> .....	34
2.14.3	Impressão Digital .....	35
2.15	PRÉ-IMPRESSÃO .....	36
2.16	PÓS-IMPRESSÃO .....	36
2.17	IMPRESSÃO OU ROTULAGEM SOB DEMANDA .....	37
2.18	REVESTIMENTOS ESPECIAIS .....	38
2.19	NORMAS E REGULAMENTOS DA INDÚSTRIA .....	39
2.19.1	Ensaio de Resistência ao Esmagamento na Borda (ECT) .....	42
2.19.2	Ensaio de Compressão da Caixa .....	42
2.19.3	Teste de COBB .....	43
2.20	RECICLAGEM E IMPACTO AMBIENTAL .....	44
CAPÍTULO 3. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO .....		46
3.1	LOCALIZAÇÃO DA FÁBRICA .....	46
3.2	MERCADO .....	46
3.3	ESTUDO DOS FLUXOS .....	47
3.3.1	Gráfico do Fluxo de Processo tipo Esboço para a Produção da Chapa de Papelão	47
3.3.2	Gráfico do Fluxo de Processo para a Conversão das Chapas em Caixas	48
3.3.3	Gráfico de Fluxo de processo tipo Material .....	48
3.4	EQUIPAMENTO PARA A PRODUÇÃO .....	48
3.4.1	Características Técnicas da Onduladora Integrada .....	49
3.4.2	Características Técnicas da Impressora Digital .....	49

3.4.3	Características Técnicas da Máquina de Corte e Vinco Plano.....	50
3.4.4	Características Técnicas da Ranhuradora Excêntrica.....	50
3.4.5	Características Técnicas da Máquina de Cintar com Paletizador .....	51
3.4.6	Características Técnicas da Máquina de Colar e Agrafar .....	51
3.4.7	Equipamento auxiliar .....	52
3.5	ANÁLISE DA CAPACIDADE DE PRODUÇÃO.....	53
3.6	CÁLCULO DAS SUPERFÍCIES PARA AS MÁQUINAS.....	55
3.7	LAYOUT .....	57
3.8	INSTALAÇÕES .....	58
3.9	ARMAZENAGEM .....	58
3.9.1	Armazenagem de Produtos Perigosos e Inflamáveis.....	59
3.10	ESQUEMA DE CIRCULAÇÃO.....	59
3.11	SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS .....	61
3.12	EQUIPAMENTO DE PROTECÇÃO INDIVIDUAL .....	61
3.13	AVALIAÇÃO ECONÓMICA.....	62
CAPÍTULO 4. APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS.....		66
CAPÍTULO 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....		68
5.1	CONCLUSÕES .....	68
5.2	RECOMENDAÇÕES.....	68
CAPÍTULO 6. BIBLIOGRAFIA E REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		70
ANEXOS	75	

## Lista de Figuras

Figura 1:	Processo de fabricação do papel. Nota: Adaptado de Verbex, 2008 (Domínio Público)	7
Figura 2:	Elementos estruturais de papelão de parede simples. Autor .....	9
Figura 3:	Perfis de flauta de papelão e suas alturas típicas. Autor .....	11
Figura 4:	Elementos estruturais de papelão de parede dupla (AB). Autor .....	12
Figura 5:	Diagrama do processo de formação do papelão de parede simples. Autor .....	13
Figura 6:	Esquema técnico de uma caixa de papelão na sua forma plana. Autor .....	14
Figura 7:	Exemplo de um selo circular em caixas de papelão que adere aos requisitos da Regra 41. Nota: Fotografia reproduzida de Flickr, por byzantiumbooks, s.d. Licenciada sob CC BY 2.0. ....	16
Figura 8:	Onduladora de face simples. Nota: Imagem reproduzida de Alibaba, s.d .....	18

Figura 9:Máquina de corte de chapas de papelão. Nota: Imagem reproduzida da ZhengRun Machinery, s.d. ....	18
Figura 10:Máquina de colar folhas. Nota: Imagem reproduzida de Alibaba, s.d.....	19
Figura 11:Ranhuradora excêntrica. Nota: Imagem reproduzida de Alibaba, s.d.....	20
Figura 12:Máquina de prensagem de folhas. Nota: Imagem reproduzida de Alibaba, s.d .....	20
Figura 13:Máquina de colar e dobrar caixas Nota: Imagem reproduzida de Alibaba, s.d.....	21
Figura 14:Agrafadora semiautomática com pedal Nota: Imagem reproduzida de Alibaba, s.d ..	22
Figura 15:Flexo dobradeira-coladeira. Nota: Imagem reproduzida da Mitsubishi Heavy Industries .....	23
Figura 16:Representação do corte rotativo do papelão. Nota: Imagem reproduzida de FEFCO, s.d.....	25
Figura 17:Paletizador Nota: Imagem reproduzida de Alibaba, s.d.....	26
Figura 18:Máquina de cintar. Nota: Imagem reproduzida de Alibaba, s.d. ....	26
Figura 19:Diagrama do processo de impressão flexográfica. Nota: Adaptado de Wikimedia Commons, por ECTran71, 2022. Licenciado sob CC BY-AS 4.0.....	32
Figura 20:Impressora flexográfica. Nota: Imagem reproduzida da Wikimedia Commons, por Soma Engineering, 2013. Licenciado sob CC BY-AS 3.0 .....	33
Figura 21:Impressora offset Ryobi. Nota: imagem reproduzida da Vohvelirauta, 2005. (Domínio Público) .....	34
Figura 22:GFP tipo esboço para a produção da chapa de papelão. Autor .....	47
Figura 23:GFP tipo esboço para a conversão das chapas em caixas. Autor.....	48
Figura 24:Arranjo da pré-planta (dimensões em metros). Autor .....	57
Figura 25:Esquema de circulação. Autor .....	60
Figura 26:Largura da área de transporte e movimento de pessoas. Autor .....	60

## Lista de Tabelas

Tabela 1:Classificações comuns de Revestimento e Meio Ondulado. Nota Adaptado da EIRI, s.d. ....	5
Tabela 2:Tipos de flauta e suas aplicações.....	11
Tabela 3:Códigos e descrições de diferente categorias de caixas .....	15
Tabela 4:Comparação entre FFGs e equipamento independente .....	24
Tabela 5:Comparativo entre pré-impressão e pós-impressão em caixas de papelão .....	37
Tabela 6:Tipos de revestimentos superficiais em caixas de papelão.....	39
Tabela 7:Características técnicas da Onduladora. Fonte Alibaba, s.d. ....	49
Tabela 8:Características técnicas da impressora digital Fonte: Alibaba, s.d. ....	50
Tabela 9:Características técnicas da máquina de corte e vinco. Fonte: Alibaba, s.d. ....	50
Tabela 10:Características técnicas da ranhuradora excêntrica. Fonte: Alibaba, s.d.....	51

Tabela 11:Características técnicas da máquina de cintar com paletizador. Fonte: Alibaba, s.d.	51
Tabela 12:Características técnicas da máquina de colar e agrafar. Fonte: Alibaba, s.d.....	51
Tabela 13:Características técnicas da caldeira. Fonte: Alibaba, s.d. ....	52
Tabela 14:Características técnicas do compressor de ar. Fonte: Guangzhou Leadcom Compressor CO., LTD., s.d. ....	52
Tabela 15:Características técnicas do gerador a diesel. Fonte: GenKing, s.d.....	52
Tabela 16:Resumo da produção diária por equipamento .....	54
Tabela 17:Cálculo das superfícies das máquinas e bancadas .....	55
Tabela 18:Outros recintos .....	56
Tabela 19:EPIs necessários para cada sector .....	61
Tabela 20:Estimativa de investimento inicial .....	62
Tabela 21:Estimativa de custos mensais (fixos).....	63
Tabela 22:Projectão do ponto de equilíbrio por 5 anos .....	64
Tabela 23:Projectão do retorno do investimento .....	64

## Siglas

ISO	<i>International Standardization Organization</i>
CEPI	<i>Confederation of European Paper Industries</i>
FEFCO	<i>Fédération Européenne des Fabricants de Carton Ondulé</i>
ASTM	<i>American Society of Testing and Material</i>
TAPPI	<i>Technical Association of the Pulp and Paper Industry</i>
RSC	<i>Regular Slotted Container</i>
DIN	<i>Deutsches Institut für Normung</i>
PVA	Poliacetato de Vinilo
EVA	Etileno-vinil Acetato
UV	Ultravioleta
FFG	<i>Flexo-folder-gluer</i>
PIB	Produto Interno Bruto
FBA	<i>Fibre Box Association</i>
TIR	Taxa Interna de Retorno
EPI	Equipamento de Protecção Individual
IRPC	Imposto sobre o Rendimento de Pessoas Colectivas
ESBO	<i>European Solid Board Organization</i>
FIFO	<i>First In, First Out</i>
IRR	<i>Internal Rate of Return</i>

## Capítulo 1. INTRODUÇÃO

Os engenheiros mecânicos são responsáveis pelo projecto, fabricação e até o transporte de muitos produtos, desde objectos pequenos como esferográficas até navios cargueiros de grande porte. Para que estes produtos cheguem ao consumidor final em perfeitas condições, o transporte seguro é uma etapa essencial do processo. Neste contexto, as embalagens são da extrema importância, pois protegem os produtos contra impactos, humidade, etc., durante o armazenamento e o transporte.

Entre os diversos tipos de embalagem existentes, as caixas de papelão se destacam por sua versatilidade, praticidade e biodegradabilidade. Elas são utilizadas para embalar produtos de diversos formatos, com a vantagem de permitirem agrupar e empilhar de forma padronizada ou paletizada, facilitando o transporte.

Considerando o contexto do País (Moçambique), com o crescimento industrial, o investimento no sector agrícola e até no comércio electrónico (*e-commerce*), há várias razões para considerar a construção de uma unidade fabril de caixas de papelão, visando reduzir a dependência das importações.

No caso da agricultura, as caixas de papelão oferecem diversas vantagens, pois são respiráveis, o que ajuda a evitar o acúmulo de humidade, preservando a frescura dos alimentos. Além disso, são fabricadas em diferentes tamanhos e formas, permitindo a acomodação adequada de produtos agrícolas de variados formatos e delicadezas, como maçãs, tomates, folhas verdes, cenouras, etc. Desta forma, as caixas de papelão não só protegem os produtos durante o transporte, como também se alinham com as exigências modernas de sustentabilidade, reduzindo o impacto ambiental no ciclo de vida das embalagens.

Adicionalmente, para o sector industrial, uma unidade fabril para o fabrico de caixas de papelão complementa directamente este sector de produção, fornecendo embalagens necessárias para os seus produtos. Já no comércio electrónico, o seu rápido crescimento exige embalagens leves e padronizáveis para a optimização da logística e que garantam a integridade do produto até o consumidor final.

Com a crescente consciencialização ambiental, tanto consumidores quanto empresas estão buscando soluções mais ecológicas. A caixa de papelão, sendo reciclável e biodegradável, é a solução mais sustentável em comparação com outros materiais de embalagem, como o plástico.

## **1.1 Formulação do Problema**

Perante o impulso no sentido da sustentabilidade e da carência de soluções de embalagem ecológica que atendam às necessidades de vários sectores em desenvolvimento como a agricultura, a indústria manufactureira e o comércio electrónico, o mercado local enfrenta um défice estrutural na capacidade de produção de caixas de papelão de alta qualidade. A dependência de importações e a ausência de soluções personalizáveis e biodegradáveis resultam em elevados custos logísticos, elevado tempo de espera e uma limitação à expansão das cadeias de valor nacionais.

O problema de engenharia central a ser endereçado é a determinação dos factores de produção para estabelecer uma unidade fabril competitiva e sustentável a longo prazo. Especificamente, a selecção da matéria-prima com melhor custo benefício, a selecção do equipamento de produção que atenda à necessidade das diversas indústrias locais e a avaliação da viabilidade económica do empreendimento.

## **1.2 Objectivo Geral**

Elaborar um projecto de engenharia de uma unidade fabril de caixas de papelão em Moçambique.

## **1.3 Objectivos Específicos**

- Avaliar as características técnicas da matéria-prima necessária.
- Analisar os equipamentos principais e auxiliares para uma unidade fabril.
- Realizar a avaliação económica inicial do projecto, considerando custos fixos, variáveis e indicadores de viabilidade.

## **1.4 Metodologia**

A metodologia usada para o desenvolvimento deste projecto será a consulta de teses, livros e dissertações já publicadas relacionada com o tema deste trabalho. Para a elaboração dos desenhos será utilizada o AutoCAD e *Fusion 360*.

## **Capítulo 2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Breve Historial**

O primeiro uso registado de papel para embalagens foi em 1035, quando um viajante persa, ao visitar mercados no Cairo, observou que legumes, especiarias e ferragens eram embrulhados para o cliente após serem vendidos (Hunter, 1947, citado por Diana Twede, 2005). Por volta do século XV na China, um papel mais durável foi desenvolvido, representando um precursor inicial do papelão moderno (Kallipso, 2022). Este papel mais espesso oferecia maior rigidez, sugerindo um potencial para além da escrita. O primeiro caso documentado de cartão sendo fabricado especificamente para criar caixas ocorreu na Inglaterra, em 1817, pela empresa M. Treverton & Son. Desenvolvimentos semelhantes em embalagens de cartão estavam ocorrendo na Alemanha (Hook et al., s.d.) e França, indicando um reconhecimento crescente em toda a Europa do potencial de materiais a base do papel para aplicações de embalagem. Essas primeiras caixas de cartão encontraram usos iniciais em aplicações de nicho, como embalagens para um jogo de tabuleiro alemão e para o transporte de ovos de bicho-da-seda por fabricantes de seda na França (Boxfactory, 2024). O surgimento paralelo de embalagens de cartão em diferentes países europeus sugere um entendimento compartilhado de seu potencial na crescente era industrial.

Entretanto, só foi em 1871 que um americano chamado Albert Jones patenteou o papel ondulado nos Estados Unidos como uma forma de embalagem protectora. Jones usou o papel ondulado para embrulhar garrafas e chaminés de lanternas de vidro. Alguns anos mais tarde, em 1874, Oliver Long melhorou a patente de papel ondulado de Jones. Long adicionou uma camada lisa de papel, colado ao papel ondulado, o que o tornou mais resistente. Embora a patente do papel ondulado já existisse na Inglaterra em 1856, ele não era usado para embalagens, mas sim como um material de enchimento em chapéus altos para homens. Contudo, ela serviu como prova para a resolução de litígios que culminaram em uma aliança entre três empresários (Robert H. Tompson, Henry D. Norris e Robert Gair) para produzir, com exclusividade, o papel ondulado até o final do prazo da patente. Até esse momento, não se produziam caixas de papelão propriamente ditas, mas sim apenas a estrutura laminada do papelão.

Essas estruturas laminadas, ou chapas de papelão, eram cortadas e coladas nos estabelecimentos dos clientes para formarem as caixas de acordo com as suas necessidades. A falta de padronização era evidente naquela altura.

Em 1874, G.Smyth construiu uma máquina que podia produzir grandes volumes de cartão ondulado. A produção em massa tornou-se então possível, preparando o terreno para o uso comercial generalizado (kallipso, 2022). A mecanização do processo de produção foi importante porque a conveniência e o custo em relação aos métodos tradicionais de embalagem tornaram-nos muito atraentes como embalagens de protecção.

Em 1890, o escocês Robert Gair descobriu acidentalmente que era possível vincar e cortar o papelão em uma única operação. Tal percepção surgiu durante a produção de sacos de sementes, quando uma régua de metal mal posicionada cortou os sacos em vez de vincá-los (Hook et al., s.d.). Esse incidente proporcionou a Gair a compreensão de que o corte e vinco poderiam ser combinados em uma única etapa, um avanço que melhorou a eficiência da fabricação de caixas.

Empresas pioneiras como a Thompson Norris Company produziram as primeiras caixas de papelão ondulado de dupla face em 1894 (Stop&Stor, 2023). Entre as primeiras empresas a adoptar as caixas de papelão para o transporte estavam a Wells Fargo e a Kellogg Company. A Kellogg Company desempenhou um papel significativo na popularização das caixas de papelão para embalagens de consumo ao utilizá-las para seus cereais em flocos por volta da virada do século XX. No início dos anos 1900, as caixas de papelão ondulado começaram a substituir caixotes e caixas de madeira feitos à mão no comércio. Sua versatilidade foi realçada pelo baixo peso relativo e pela facilidade de manuseio (Hook et al., s.d.).

Estes inovadores e empresas, colectivamente lançaram as bases para a moderna indústria de caixas de papelão, demonstrando o potencial deste material.

## **2.2 Papel, Cartão e Papelão**

O papel e o cartão são materiais compostos por uma rede entrelaçada de fibras de celulose derivadas da madeira. O cartão, contudo, distingue-se do papel por ser mais espesso e possuir um peso por unidade de área superior. De acordo com a norma ISO (*International Standardization Organization*), o papel com mais de 200 g/m<sup>2</sup> é considerado cartão. Contudo, a CEPI afirma que “o papel é geralmente chamado de cartão quando pesa mais de 220 g/m<sup>2</sup>” (citado por Holmen Iggsund, s.d.). Não obstante, pode existir cartão com gramagem inferior a 200 g/m<sup>2</sup>.

Com base nestas informações, conclui-se que a gramagem não é o factor decisivo para a designação do material. Outros factores, como o número de camadas, a espessura e a rigidez, em conjunto, conferem ao material a sua designação adequada.

Relativamente às convenções de medição, nos Estados Unidos, a designação comum para a gramagem é o peso-base, expresso em libras (lb) por resma de quinhentos ou, nalguns casos como o cartão, mil folhas. Todavia, as dimensões de cada resma variam conforme o tipo de papel, não sendo formalmente padronizadas. Por exemplo, para o papel de impressão, a resma-base é tipicamente de 500 folhas de 17" x 22", enquanto para o cartão utilizado para o fabrico de caixas de papelão, as unidades são frequentemente expressas em libras por mil pés quadrados (lb/1000ft<sup>2</sup>), como em 26lb/1000ft<sup>2</sup>.

Em certos contextos, o cartão pode ser designado como papelão. Todavia para evitar ambiguidades, ao longo do presente documento o termo "papelão" refere-se à estrutura completa da chapa de papelão ondulado, e não ao cartão.

Outra característica importante do papel, e particularmente relevante no fabrico do papel destinado à produção do papelão, é a sua espessura, também designada por calibre. Esta propriedade influencia directamente a uniformidade da formação das ondas (flautas) durante o processo.

Tabela 1: Classificações comuns de Revestimento e Meio Ondulado. Nota Adaptado da EIRI, s.d.

Tipos de cartão	Gramagem		Resistência ao Estouro*		Calibre	
	lb/1000ft <sup>2</sup>	g/m <sup>2</sup>	psi	kg/cm <sup>2</sup>	polegadas	mm
<b>Revestimento Kraft (Fourdrinier)</b>	26	127	70	4,9	0,008	0,203
	33	161	85	6,0	0,010	0,254
	38	186	92	6,5	0,011	0,279
	42	205	100	7,0	0,0125	0,318
	47	229	105	7,4	0,0145	0,368
	69	337	135	9,5	0,020	0,508
<b>Revestimento Cilindro</b>	90	439	160	11,25	0,023	0,584
	40	195	65	4,6	0,010	0,254
	50	244	100	7,0	0,013	0,330
	70	342	135	9,5	0,021	0,533
<b>Flauta (meio ondulado)</b>	90	439	175	12,3	0,028	0,711
	26	127	-	-	0,009	0,229
	30	146	-	-	0,010	0,254
	33	161	-	-	0,011	0,279
	36	176	-	-	0,012	0,305

\*Os valores de resistência ao estouro são valores médios obtidos de testes padronizados, nomeadamente o teste de Mullen.

### 2.2.1 Produção do Papel

Para fins didáticos, o processo de transformação de árvores em papel pode ser resumido em algumas etapas essenciais, desde o abate das árvores até a produção final das folhas de papel. Embora complexo e extenso em seus detalhes técnicos, pode-se simplificar a sua compreensão de seguinte forma:

- 1) Colheita e descascamento: Árvores adequadas para a produção de papel como as coníferas (pinho e o abeto) ou as folhosas (eucalipto), são colhidas de florestas geridas de forma sustentável. Após o abate, os troncos são transportados para a fábrica de papel, onde são descascados. Esse processo é realizado de forma mecânica, utilizando grandes máquinas chamadas descascadores.
- 2) Trituração da madeira: Depois do descascamento, os troncos são colocados em máquinas que os cortam em pequenos pedaços, chamados cavacos de madeira. Esses cavacos fornecem um material uniforme para a etapa seguinte.
- 3) Produção de pasta: A produção da pasta pode ser feita forma mecânica ou química. Na produção mecânica, os cavacos de madeira são moídos usando trituradores mecânicos, quebrando-os em fibras. Este método preserva a maior parte do material da madeira, mas resulta em papel de qualidade inferior, pois a lignina, um componente natural da madeira, permanece na pasta. A lignina é um composto orgânico complexo nas paredes das plantas, particularmente em árvores e outras plantas lenhosas. Ela actua como um cimento natural, proporcionando rigidez e resistência às células vegetais, ajudando a ligar as fibras de celulose e permitindo que as plantas cresçam de forma robusta e alta. Ela precisa de ser removida, pois a sua presença pode causar problemas, como o amarelecimento e a perda de resistência do papel ao longo do tempo. Na produção química de Pasta, os cavacos de madeira são cozidos em grandes digestores com soluções químicas (como hidróxido de sódio ou compostos de enxofre) que dissolvem a lignina, deixando as fibras de celulose. Isso resulta em papel mais forte e de melhor qualidade. Após a produção da pasta, a mistura é lavada para remover os produtos químicos, lignina e quaisquer restos de madeira. Dependendo do tipo de papel desejado, a pasta pode ser branqueada para torná-la mais branca. Este processo utiliza químicos como dióxido de cloro, peróxido de hidrogénio ou oxigénio para remover a lignina remanescente.
- 4) Refinação e mistura: A pasta é refinada batendo as fibras para melhorar a resistência e flexibilidade das ligações. Nesta fase, podem ser adicionados

enchimentos como argila, carbonato de cálcio ou corantes para modificar as características do papel (como textura, brilho ou cor).

- 5) Formação da folha de papel: A pasta de celulose é diluída com água para criar uma suspensão e é espalhada sobre uma tela móvel ou malha. À medida que a água é drenada, as fibras de celulose se unem, criando uma manta húmida, que se tornará o papel. A folha de papel molhada passa por rolos que espremerão o excesso de água e compactarão as fibras. Este processo de formação da folha ocorre tanto na máquina Fourdrinier, que utiliza uma esteira contínua, quanto na máquina de cilindro, que emprega um ou mais cilindros rotativos cobertos por tela.
- 6) Secagem: Após a prensagem, o papel passa por uma série de rolos aquecidos para secar completamente a folha. Este processo evapora a humidade restante, deixando uma folha contínua e seca.
- 7) Acabamento, Alisamento e Revestimento: O papel seco pode passar por processos de acabamento adicionais, como a calandragem, onde é pressionado entre rolos lisos para lhe conferir uma superfície mais uniforme. Se necessário, o papel é revestido com substâncias como amido, látex ou argila para melhorar a textura, a resistência ou a capacidade de impressão.
- 8) Corte e Embalagem: Os grandes rolos de papel são então cortados em tamanhos específicos e embalados para distribuição. Estes podem ser transformados em várias formas, como papel de escritório, jornal ou produtos de papel especializados.

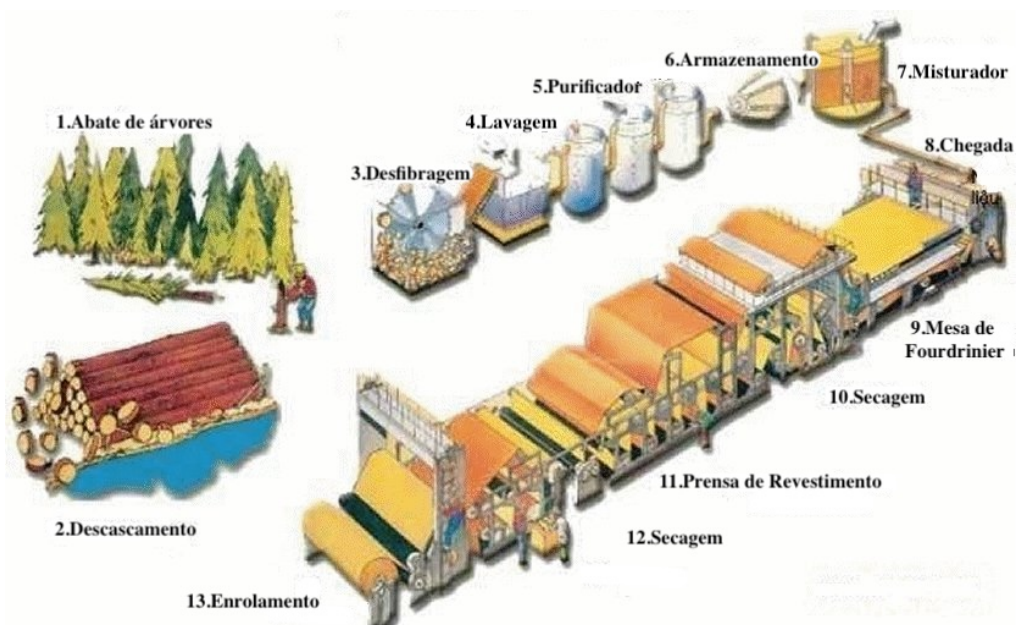


Figura 1: Processo de fabricação do papel. Nota: Adaptado de Verbex, 2008 (Domínio Público)

### 2.3 A Caixa de Papelão

A maior parte das mercadorias e produtos manufacturados são embalados, e a forma de embalagem mais usada é a caixa de papelão. Isto ocorre porque elas desempenham as funções de:

- Protecção: protege o produto contra danos à medida que se move através do ambiente de transporte e manuseio, do produtor ao consumidor.
- Armazenamento: serve de local conveniente e oferece um método seguro de armazenamento de um produto até que seja vendido.
- Publicidade: a possibilidade de impressão na camada exterior pode servir como publicidade para o próprio produto enquanto este se encontra em trânsito.
- Economia: desempenha todas as funções acima a um custo mínimo.

A caixa de papelão é tipicamente composta por dois elementos estruturais: a camada lisa (o revestimento interno e externo) e a camada ondulada, também conhecida como flauta. A flauta é inserida entre as camadas lisas.

### 2.4 O Revestimento (*liners*)

De acordo com a EIRI *Board of Consultants & Engineers* (s.d.) os revestimentos (também conhecidos como *liners*) são geralmente de dois tipos:

- 1) Revestimento *kraft* Fourdrinier (também chamado de *kraft* virgem): é feito de fibras virgens de pinho, ou seja, fibras que não foram utilizadas anteriormente, num processo contínuo desde a árvore até a folha de papel. Este revestimento corresponde a cerca de 80% de todas as caixas de papelão e é preferido para aplicações que exigem alta resistência e boa durabilidade.
- 2) Revestimento cilindro (também conhecido imprecisamente como revestimento de Juta): é feito de fibras reprocessadas, geralmente obtidas de caixas usadas e recicladas. Essencialmente, ele contém dois terços (2/3) de fibras de *kraft* virgem e um terço (1/3) de fibras de *kraft* reprocessado.

A escolha entre estes dois revestimentos é feita com base em várias considerações; entretanto na maioria do uso normal das caixas, os dois revestimentos são intercambiáveis.

Os requisitos das Regras de Frete (um conjunto de regulamentos e normas que governam o movimento de mercadorias) são baseados nos graus *kraft*, e para cada revestimento *kraft* existe um revestimento cilindro equivalente, porém um pouco mais pesado. O revestimento *kraft* tem melhor resistência ao rasgo na direcção da máquina em relação

ao revestimento cilindro (EIRI, s.d.). A resistência ao rasgo na direcção transversal é aproximadamente a mesma. O revestimento *kraft* é indicado para o transporte de cargas densas, ou que espera que sofram uma tensão maior do que normal nas linhas de vinco. Os revestimentos podem igualmente receber um tratamento de acabamento, consoante a aplicação pretendida. O acabamento é uma propriedade importante em todos os revestimentos. Geralmente são usados amidos, emulsões de cera e carboximetilcelulose. No caso do revestimento *kraft*, o acabamento a seco implica a ausência de aplicação de qualquer material de acabamento.

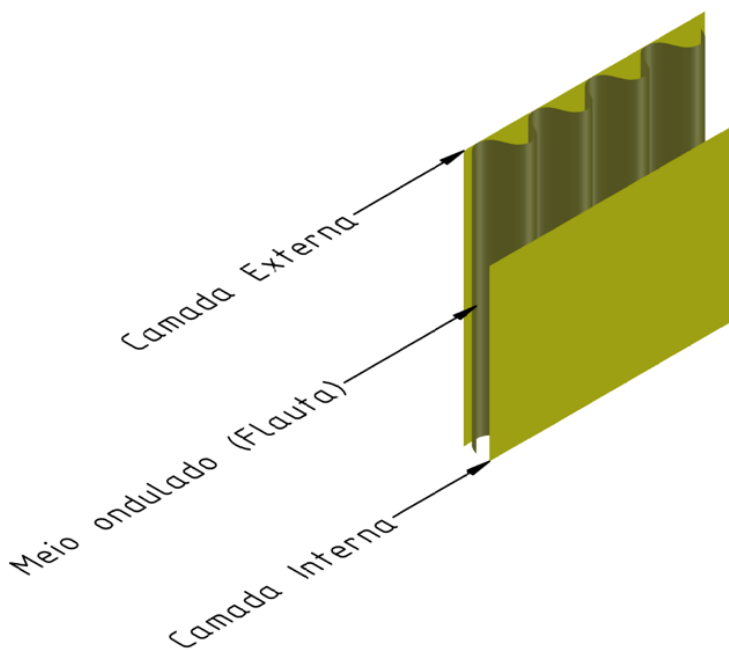


Figura 2: Elementos estruturais de papelão de parede simples. Autor

## 2.5 A Flauta

A flauta é a camada ondulada inserida entre as camadas lisas. Adquire a sua forma característica ao passar pela secção da máquina denominada onduladora de face simples, onde é submetida a calor e pressão ao passar entre dois rolos metálicos com superfícies dentadas semelhantes a engrenagens. O calor amolece o papel e a pressão mecânica imprime-lhe o perfil ondulado, que confere rigidez e resistência ao impacto e à compressão vertical.

A EIRI (s.d.) destaca que as matérias-primas comumente usadas para o fabrico do papel *kraft* destinado à flauta (ou miolo do papelão ondulado) são as seguintes:

1. Madeiras folhosas: preparados pelo processo semi-químico com sulfito neutro (NSSC).

2. *Bogus*: é feito a partir de fibras reprocessadas. O nome conota (incorrectamente) “imitação” ou “falso”. Quando devidamente feito, a partir de boas aparas de papelão, produz um miolo excelente que possui boa maquinabilidade e resistência ao esmagamento plano.
3. O revestimento *kraft*: é utilizada como flauta quando é necessária uma resistência especial a rasgões elevados ou à perfuração. Quando usado para este fim, deve ter a mesma gramagem que o revestimento.
4. Palha: produz uma boa flauta quando misturada com 40 a 60% de *kraft* sob a forma de desperdício. Usada por si só, produz uma flauta macia e muito susceptível à humidade. O refino para o tornar mais duro tende a causar fragilidade. Este material geralmente contém quantidades excessivas de areia que provocam desgaste prematuro dos rolos onduladores.
5. Outros: em alguns países, ainda é muito comum encontrar material para flautas feitas a partir de desperdício de jornais e outras fibras de baixa qualidade. Tendem a ser macios sem a presença de aditivos. O seu uso é ditado pela necessidade económica em países que possuem recursos florestais limitados ou inexistentes e que desejam restringir as importações e limitar o intercâmbio de divisas. As caixas de papelão fabricadas em países onde esta qualidade predomina, tendem a ser de construção de parede dupla.

## 2.6 Tipos e Aplicações de Flautas em Papelão

O tamanho e a forma das flautas variam, influenciando as propriedades do papelão (Packaging Warehouse, s.d.). Quando se trata de papelão de parede simples, as flautas mais comumente utilizadas são designadas por: ‘A’, ‘B’, ‘C’, ‘E’ e ‘F’. Dentre essas, a flauta ‘C’ é a mais prevalente no mercado. A Flauta ‘D’ caiu em desuso principalmente por razões económicas, visto que não apresentava vantagens significativas em comparação com as flautas ‘B’ e ‘C’. A selecção do tipo de flauta é um factor importante na determinação das propriedades da caixa, tais como a resistência ao empilhamento, a capacidade de amortecimento e a qualidade de impressão.

Na prática, na indústria de embalagens de caixas de papelão o termo “micro flauta” é aplicado a flautas que possuem uma altura inferior a um milímetro. Para além da flauta ‘F’, as flautas ‘N’, ‘G’ e ‘O’ são categorizadas como micro flautas. Importa referir que as designações por letras (A, B, C, E, F, N, G, O) não seguem uma ordem alfabética de tamanho, mas sim a ordem em que foram desenvolvidas.

Tabela 2: Tipos de flauta e suas aplicações

Flauta	Altura (mm)	Flautas/metro	Aplicações típicas
A	4,6 – 5,2 (4,0 – 4,9)*	108 ± 10	Transporte industrial, elevada protecção, usada para produtos frágeis e pesados.
B	2,4 – 3,0 (2,2 – 3,0)*	154 ± 10	Transporte geral, boa resistência a perfurações e esmagamento.
C	3,6 – 4,0 (3,1 – 3,9)*	128 ± 10	Mais comum, cerca de 80% das caixas de transporte, bom equilíbrio entre resistência ao empilhamento, amortecimento e capacidade de impressão.
E	1,1– 1,5 (1,0 – 1,8)*	295 ± 13	Embalagens de consumo, cosméticos, electrónica e descartáveis. Impressão de alta qualidade.
F	0,8 – 1,0 (0,6 – 0,9)*	420 ± 13	Embalagens de luxo, expositores gráficos.

*\*valores entre parenteses referem-se aos limites admitidos pela norma DIN 55468 (The German Insurance Association, s.d.)*

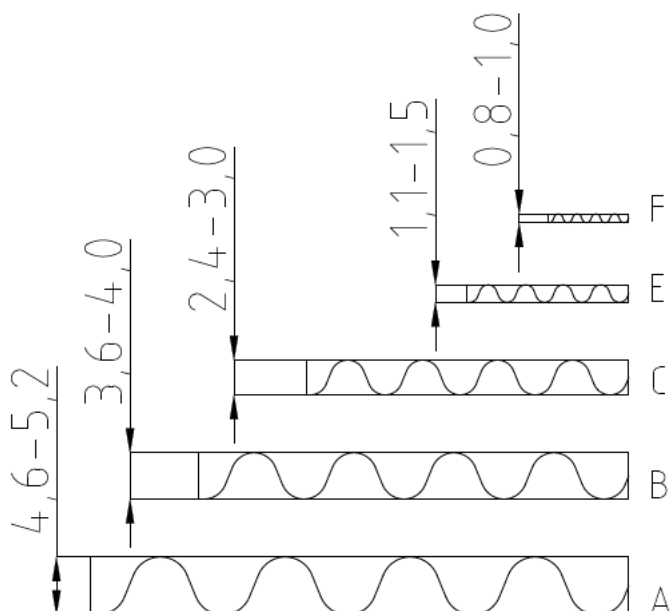


Figura 3: Perfis de flauta de papelão e suas alturas típicas. Autor

Para o papelão de parede dupla, as designações das flautas seguem uma sequência que indica a combinação das camadas, da mais externa para a mais interna, como por

exemplo 'AB' e 'BC'. Recentemente, uma construção ainda mais robusta, denominada parede tripla, tornou-se disponível. Esta consiste em quatro camadas lisas e três flautas totalizando sete camadas. A convenção para a designação destas estruturas segue o mesmo princípio da parede dupla, utilizando-se por exemplo 'ABC' ou 'AAB' (EIRI, s.d.).

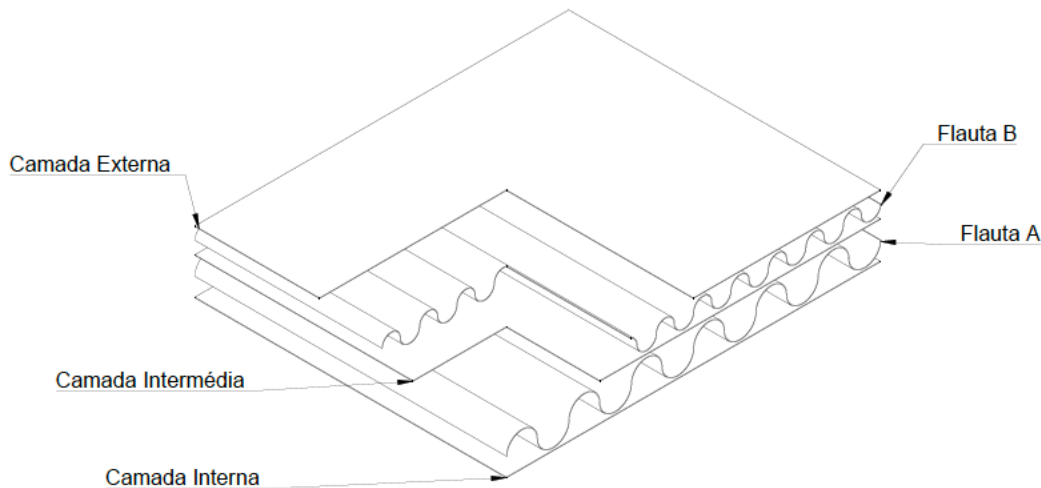


Figura 4: Elementos estruturais de papelão de parede dupla (AB). Autor

## 2.7 O Processo de Conversão

O processo de produção de caixas de papelão é denominado **conversão** e não fabricação, pois envolve a conformação e manipulação do material pré-existente (o papelão) sem alterar a sua composição, diferentemente da fabricação que implica na criação ou transformação da matéria-prima. Neste contexto, o processo de conversão inicia-se a partir de rolos de papel *kraft*, tipicamente três: um destinado ao revestimento interno, outro ao revestimento externo e o terceiro que será ondulado, formando a flauta (FEFCO, s.d.).

Após a ondulação, uma das camadas lisas é colada ao cume das ondas com um adesivo, à base de amido formando o que se designa por face simples (Packagin Corporation of America, s.d.). A secção seguinte da linha de produção aplica então a segunda camada lisa sobre o lado oposto da flauta, também por colagem, completando a estrutura do papelão de parede simples.

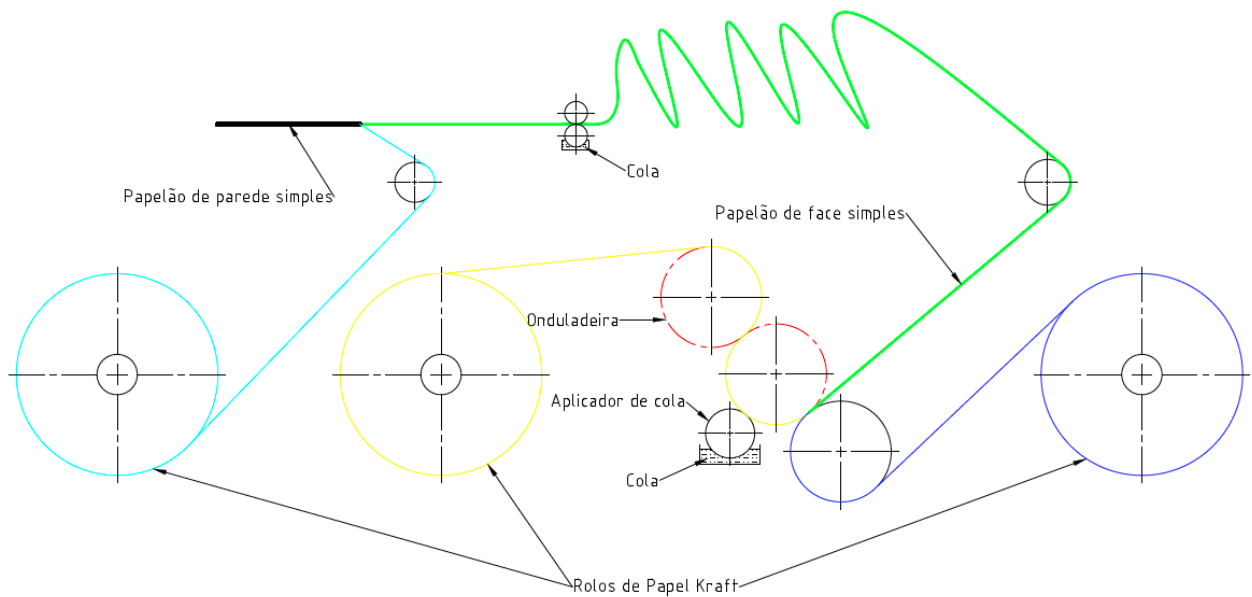


Figura 5: Diagrama do processo de formação do papelão de parede simples. Autor

Após a formação da chapa de papelão, o material segue por várias etapas de transformação mecânica até adquirir a forma final de embalagem desejada. Estas etapas, geralmente realizadas na seguinte sequência, são:

- Corte e Vincagem: esta etapa inicial define o contorno da caixa (incluindo abas e recortes específicos do modelo), e cria linhas de dobragem (vincos) que permitirão montar a caixa sem rasgar o material. Geralmente, o corte e a vincagem ocorrem em conjunto em equipamentos especializados. O processo de criação de vincos em papelão gera fissuras; por essa razão deve-se ter atenção redobrada nas operações de vincagem.
- Impressão: pode ser decorativa ou informativa.
- Colagem ou agrafamento: esta é a etapa final do processo de conversão das caixas de papelão que envolve a montagem das embalagens na sua forma tridimensional, unindo as extremidades da chapa à junta do fabricante via colagem ou agrafamento.
- Dobragens: as caixas são espalmadas ou dobradas planamente para facilitar o transporte e armazenamento.
- Empacotamento: empilhamento em fardos para expedição.

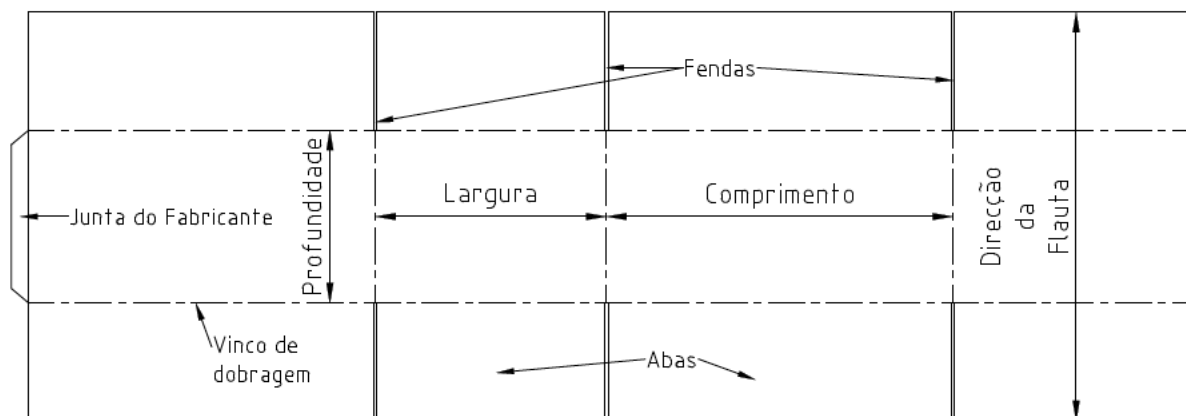


Figura 6: Esquema técnico de uma caixa de papelão na sua forma plana. Autor

A figura seis representa uma caixa de aba normal, também conhecido como caixa americana. Em inglês o termo usado é *Regular Slotted Container (RSC)*. As quatro abas superiores e as quatro abas inferiores têm o mesmo comprimento. As fendas vão até a metade da profundidade da caixa. A junta do fabricante é a área onde as extremidades da caixa são coladas ou agrafadas. Quando as embalagens são produzidas para aplicações que envolvem o produto, a junta do fabricante não é produzida.

Numa caixa de papelão típica, as flautas são geralmente orientadas de forma a ocorrer paralelamente aos painéis principais que conferem a sua resistência ao empilhamento e perpendicularmente aos vincos que definem a altura da caixa.

As dimensões de comprimento, largura e profundidade referem-se as dimensões do interior da caixa. Sendo assim, deve-se ter em conta as tolerâncias necessárias para a acomodação adequada do produto a ser embalado.

## 2.8 Formatos Padrões

O código FEFCO (*Fédération Européenne des Fabricants de Carton Ondulé*) é um sistema internacionalmente reconhecido para a classificação de formatos de caixas de papelão ondulado. Desenvolvido na década de 1960 em colaboração com a ESBO (*European Solid Board Organization*), seu objectivo principal é evitar ambiguidades na comunicação entre fabricantes, fornecedores e clientes, independentemente do idioma (FEFCO, 2022).

Este código atribui um número específico a cada estilo de embalagem, acompanhado de desenhos técnicos padronizados. Cada grupo é classificado por um prefixo numérico de quatro dígitos.

Tabela 3: Códigos e descrições de diferente categorias de caixas

<b>Código</b>	<b>Categoria</b>	<b>Descrição</b>
<b>0100</b>	Rolos e folhas comerciais	Chapas sem formato de caixa definido
<b>0200</b>	Caixas ranhuradas	Feitas em uma única peça com juntas coladas ou costuradas
<b>0300</b>	Caixas telescópicas	Partes separadas (ex: tampa e fundo)
<b>0400</b>	Caixas dobráveis e bandejas	Feitas em uma peça dobrada com abas, travas e pegas
<b>0500</b>	Caixas deslizantes	Partes que deslizam umas dentro das outras
<b>0600</b>	Caixas rígidas	Partes separadas fixadas por costura ou colagem
<b>0700</b>	Caixas pré-coladas	Entregues planas, bastando serem montadas manual ou automaticamente
<b>0800</b>	Embalagens para varejo	Caixas para exposição
<b>0900</b>	Componentes internos	Divisórias, separadores internos

### 2.8.1 Dimensões e convenções

As dimensões das caixas FEFCO são sempre expressas como internas, em milímetros, na ordem: Comprimento (L) x Largura (W) x Altura (H). Também podem ser adicionadas variáveis como “o” para sobreposição de abas. Exemplo: 355 x 205 x 120/40 mm.

Estilos derivados recebem um sufixo após ponto, por exemplo: 0201.2. Adicionalmente, o método de fechamento pode ser indicado com letras como “G” (colado) ou “S” (costurado), ex: 0201-G.

O código FEFCO é amplamente utilizado em fichas técnicas, pedidos de compra, projectos de embalagem e na comunicação entre fabricantes. Seu uso padronizado agiliza a especificação técnica e evita erros no desenvolvimento de embalagens. A padronização oferecida pelo código FEFCO é essencial para a indústria do papelão ondulado, promovendo clareza, eficiência e consistência no projecto e fabricação de embalagens.

## 2.9 Métodos de fecho de caixas de expedição autorizadas pela Regra 41

As caixas podem ser fechadas com:

1. Adesivo: permite uma união forte em toda área de aplicação.
2. Agrafos metálicos: mais fiável pois permite inspecção visual.

3. Agrafos de coroa larga: preferido para caixas de grande tamanho.
4. Fita de papel para selagem: permite fardar volumes mais planos.
5. Fita reforçada: usada para revestimentos com acabamentos.

Por vezes, o fecho é reforçado através de cintas metálicas ou arame. Contudo, mesmo quando tal reforço é empregado, as caixas de aba normal devem, obrigatoriamente, ser fechadas por um dos métodos especificados na Regra 41 antes de serem expedidas.

A Regra 41, conhecida em inglês como o *Rule 41*, é um conjunto de normas de embalagem estabelecidas para o transporte de mercadorias por via férrea nos Estados Unidos (sob a *Uniform Freight Classification – UFC*). Existe uma regra idêntica para o transporte terrestre, a *National Motor Freight Classification -NMFC*. Essencialmente, estas regras definem os requisitos mínimos para os materiais e a construção de caixas de papelão e fibra solida. O seu principal objectivo é garantir que as embalagens são robustas o suficiente para proteger o conteúdo durante o trânsito, minimizando danos e perdas.

Esta regra, ao especificar a resistência ao estouro, para além da gramagem, eliminou qualquer lacuna que pudesse levar à manipulação dos critérios de teste em detrimento da qualidade real. Os revestimentos não poderiam ser carregados com fibras curtas simplesmente para cumprir o critério de peso, pois falhariam no teste de Mullen. O requisito de gramagem mantém a qualidade essencial de um tipo de revestimento, enquanto o teste de resistência faz o mesmo para outros tipos.

A EIRI (s.d.) afirma que ao aderir à Regra 41, os expedidores asseguram que as suas embalagens cumprem os padrões da indústria para o envio seguro, o que pode evitar recusas de carga e atrasos adicionais decorrentes de embalagens inadequadas.



Figura 7: Exemplo de um selo circular em caixas de papelão que adere aos requisitos da Regra 41. Nota: Fotografia reproduzida de Flickr, por byzantiumbooks, s.d. Licenciada sob CC BY 2.0.

## 2.10 Máquinas Utilizadas no Processo de Conversão

Inicialmente, a produção de caixas era efectuada de forma manual, recorrendo a máquinas rudimentares montadas em bancadas (ECSA BOX, s.d). As ferramentas, originalmente concebidas para o trabalho em couro, foram subsequentemente adaptadas à manipulação do papelão. A crescente procura por embalagens em papelão, proveniente de diversos sectores industriais e comerciais, impulsionou de forma contínua a inovação na concepção das máquinas e na automação ao longo do século XX. Este progresso resultou em acréscimos significativos na velocidade de produção, melhorias na qualidade final e maior versatilidade nos formatos e estilos de caixas produzidas.

O processo de conversão ocorre numa fase posterior ao fabrico da chapa de papelão, na qual esta é transformada no produto final: a caixa. Este processo exige uma série de máquinas especializadas, que operam de forma sequencial para moldar, cortar e unir o material. As impressoras aplicam a arte gráfica e outras informações visuais; as máquinas de vinco e corte criam as dobras e os recortes necessários para permitir o fecho e a montagem da embalagem; por fim, as coladoras e as máquinas de costura (ou agrafadoras), unem as abas laterais, conferindo à caixa a sua forma estrutural definitiva.

### 2.10.1 Onduladora

A máquina de fabrico de papelão, ou onduladora, é o coração da produção das caixas de papelão. Ela é responsável pela transformação dos rolos de papel *kraft* em chapas de papelão de medidas específicas. Através de rolos aquecidos e ranhurados, a flauta é formada e, simultaneamente, colada às folhas do revestimento interno e externo para criar a estrutura rígida do papelão. A forma mais comum de aquecer os rolos é através do vapor saturado gerado em caldeiras (Boacă et al., 2021).

É um equipamento de grande porte e alta precisão. Os rolos que formam a flauta, são geralmente revestidos por carbeto de tungsténio.

O equipamento inclui, uma secção húmida e uma secção seca. O equipamento da secção húmida é responsável pela formação da estrutura do papelão e inclui: um desbobinador de papel *kraft*, um emendador automático, um pré-aquecedor, uma onduladora de face simples, uma ponte de alimentação de papel, uma aplicadora de cola e uma onduladora de face dupla. Por sua vez, o equipamento da secção seca, encarregada do acabamento e preparação das chapas para conversão, é composta por: uma de cortadora longitudinal, uma de cortadora transversal e um empilhador automático.

Muitas onduladoras modernas também possuem a capacidade de cortar e vincar numa operação contínua, produzindo chapas com dimensões previamente especificadas. Esta integração funcional simplifica os processos subsequentes de conversão, reduzindo etapas intermédias, movimento desnecessário do material, paragens na produção e desperdício (Packagin Corporation of America, s.d.).



Figura 8: Onduladora de face simples. Nota: Imagem reproduzida de Alibaba, s.d

### 2.10.2 Máquina de Corte (Guilhotina)

A máquina de corte é utilizada para cortar o papelão em dimensões específicas, conforme as necessidades das caixas a serem produzidas. Existem vários tipos, desde guilhotinas simples para cortes rectos a máquinas mais sofisticadas com sistemas rotativos ou de corte e vinco, que permitem cortes complexos e a criação de vincos para dobra-gem. A precisão do corte é crucial para a montagem posterior das caixas.

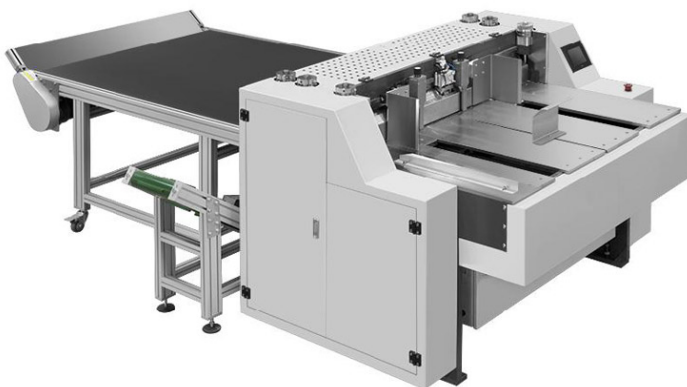


Figura 9: Máquina de corte de chapas de papelão. Nota: Imagem reproduzida da ZhengRun Machinery, s.d.

### 2.10.3 Máquina de Colar Folhas

Esta máquina é empregada para laminar ou colar várias camadas de cartão ou papel, com o objectivo de criar chapas com maior espessura, rigidez e resistência mecânica. Por exemplo, pode ser usada para colar uma folha de cartão impresso ao papelão de uma face para produzir caixas de alta qualidade gráfica. O processo envolve a aplicação uniforme de cola e a prensagem das camadas.



Figura 10: Máquina de colar folhas. Nota: Imagem reproduzida de Alibaba, s.d

### 2.10.4 Ranhuradora Excêntrica

A ranhuradora excêntrica é utilizada para executar os cortes e ranhuras necessários à formação das abas e rasgos que permitem a posterior dobragem e montagem da caixa. O termo "excêntrica" refere-se ao mecanismo rotativo com eixo deslocado, que permite o ajuste preciso da posição das facas, possibilitando a criação de diferentes dimensões e configurações de abas e ranhuras, adaptando-se a vários modelos de caixas. Trata-se de um equipamento fundamental na definição da estrutura base da caixa de papelão, assegurando a conformidade dimensional e a funcionalidade do produto final.



Figura 11:Ranhuradora excêntrica. Nota: Imagem reproduzida de Alibaba, s.d

#### 2.10.5 Máquina de Prensagem de Folhas

A máquina de prensagem de folhas (ou prensa de cartão) é utilizada para compactar e alisar chapas de papelão, sobretudo após processos de colagem ou impressão, de modo a assegurar uma melhor aderência dos materiais.

Adicionalmente, pode ser empregada para marcar vincos com maior definição ou para eliminar bolsas de ar entre as camadas, contribuindo para uma melhor coesão estrutural. Este equipamento é fundamental para garantir a uniformidade da espessura, a planicidade e a qualidade da superfície das chapas de papelão, especialmente em aplicações que exigem acabamento gráfico.



Figura 12:Máquina de prensagem de folhas. Nota: Imagem reproduzida de Alibaba, s.d

### 2.10.6 Máquina de Colagem (da Junta do Fabricante)

A máquina de colagem é utilizada para aplicar adesivo nas abas das caixas permitindo o seu fecho e montagem final. Existem diferentes versões deste equipamento: coladeiras manuais, semiautomáticas e automáticas, consoante o grau de automação pretendido. As coladeiras automáticas distinguem-se pela capacidade de dobrar e colar as caixas numa única passagem, o que aumenta significativamente a eficiência e a produtividade da linha de conversão.

A precisão na aplicação do adesivo é fundamental para garantir a integridade estrutural da caixa, evitando falhas de colagem que comprometem a resistência ou a aparência do produto final.



*Figura 13: Máquina de colar e dobrar caixas Nota: Imagem reproduzida de Alibaba, s.d*

### 2.10.7 Máquina de Costura (agrafadora)

A máquina de costura (ou agraforadora) é utilizada para unir as abas das caixas através da aplicação de agrafos metálicos, em substituição do uso de cola. Este método é particularmente utilizado em embalagens que exigem maior resistência estrutural, como caixas para cargas pesadas, ambientes húmidos ou condições logísticas exigentes. O equipamento é capaz de inserir e dobrar os agrafos de forma rápida e precisa, assegurando uma junção mecânica robusta e duradoura. É comum encontrar versões manuais, semiautomáticas e automáticas, conforme o volume de produção e o nível de exigência técnica.



Figura 14: Agrafadora semiautomática com pedal Nota: Imagem reproduzida de Alibaba, s.d

### 2.10.8 Máquinas de Impressão

A máquina de impressão é responsável por aplicar elementos gráficos, textos, logotipos e outros conteúdos visuais nas superfícies das caixas. No contexto da produção de embalagens em papelão, o método mais comum é a impressão flexográfica, que permite a impressão directa sobre a chapa do papelão, geralmente em uma ou várias cores. A qualidade de impressão é um factor crítico, influenciando directamente a imagem da marca, a legibilidade da informação e o impacto visual no ponto de venda.

Este tema será explorado com maior profundidade no capítulo 2.14.

### 2.10.9 Flexo Dobradeira-Coladeira

A Flexo Dobradeira-Coladeira (FFG) é uma máquina de conversão integrada, especialmente concebida para transformar chapas de papelão em caixas dobradas, coladas e impressas, prontas para expedição. Reúne num só equipamento várias funções que, em linhas de produção convencionais, seriam realizadas por máquinas independentes. A FFG é composta por um alimentador automático de chapas, uma ou mais unidades de impressão flexográfica, secções de ranhuração e vinco, sistemas de dobragem e cola-gem automáticos e um modulo de prensagem e empilhamento automático.

As etapas principais são as seguintes:

1. Alimentação: as chapas de papelão ondulado são alimentadas individualmente no equipamento. Este processo é fundamental para garantir o posicionamento preciso e o espaçamento uniforme, evitando desalinhamentos nas etapas seguintes.

2. Impressão flexográfica: as unidades de impressão flexográfica (normalmente de uma a quatro cores) aplicam directamente na superfície da chapa os logótipos, gráficos, textos e informações obrigatórias. A flexografia é a tecnologia de impressão dominante na indústria de embalagem ondulada, graças à sua elevada velocidade, compatibilidade com superfícies irregulares e custo-eficácia em grandes volumes.
3. Ranhuração e vinco: após a impressão, a chapa passa por unidades de ranhuração, que executam os cortes verticais para formar as abas da caixa, e de vinco, que criam as linhas de dobragem. Estas operações são muitas vezes executadas por uma ranhuradora excêntrica integrada no sistema.
4. Corte e vinco rotativo: algumas FFGs estão equipadas com unidades de corte e vinco rotativo, que permitem criar formas especiais, aberturas, furos, ou detalhes para expositores e embalagens promocionais, indo além do modelo tradicional.
5. Dobradura: a chapa, já impressa, ranhurada e vincada, é dobrada ao longo dos vincos para formar a estrutura tridimensional da caixa.
6. Colagem: um sistema de aplicação automática deposita cola fria ou quente na aba de junção do fabricante, responsável pela união da estrutura.
7. Prensagem, esquadriamento e contagem: as caixas coladas passam por uma secção de prensagem, garantindo adesão adequada, seguida de um sistema de esquadriamento, que assegura o alinhamento correcto das arestas. Por fim, são contadas e empilhadas automaticamente, formando conjuntos prontos para pale-tização e expedição.

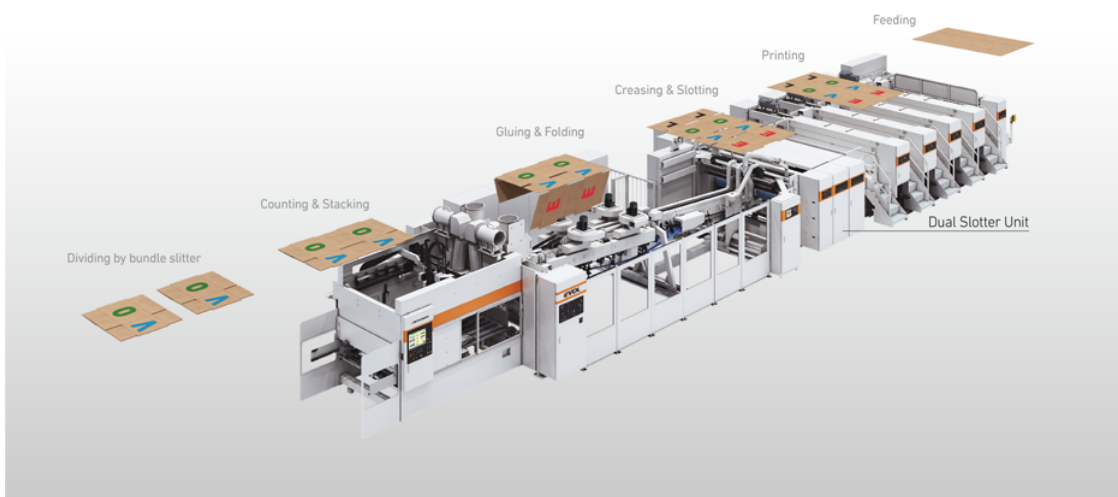


Figura 15: Flexo dobradeira-coladeira. Nota: Imagem reproduzida da Mitsubishi Heavy Industries

Tabela 4: Comparação entre FFGs e equipamento independente

<b>Critério</b>	<b>Flexo Dobradeira-Cola-deira</b>	<b>Equipamento Individual</b>
<b>Integração de processos</b>	Total	Separado por máquina
<b>Velocidade de produção</b>	Alta (acima de 300 caixas/min)	Baixa devido à transferência manual entre etapas
<b>Precisão e registo</b>	Elevada	Sujeita a variações
<b>Espaço físico ocupado</b>	Compacta	Necessita mais espaço e logística de transporte interno
<b>Custo inicial</b>	Alto (máquina única de grande porte)	Menor por unidade, mas maior no total com automatizações
<b>Manutenção</b>	Requer técnicos especializados, manutenção mais complexa	Mais simples, com técnicos locais a operar equipamentos modulares
<b>Flexibilidade</b>	Limitada a certos formatos de caixas padrão	Elevada, podendo adaptar-se a muitos tipos de caixas
<b>Configuração de modelos de caixa</b>	Mais adequada para modelos padrão em grandes volumes	Mais flexível para caixas especiais, ou com cortes complexos

#### 2.10.10 Máquina de Corte e Vinco (*Die-Cutter*)

A máquina de corte e vinco, também conhecida por *die-cutter*, é um equipamento fundamental na produção de caixas de papelão. A sua função principal é transformar as chapas de papelão em formatos tridimensionais adequado à montagem das caixas, realizando simultaneamente o corte e o vinco do material.

Este processo é realizado após a formação da chapa de papelão na onduladora, quando estas são alimentadas na máquina a serem moldadas conforme o projecto de embalagem (Wadpack, s.d.). O corte é feito por meio de um molde (troquel), e define o perímetro da caixa, enquanto o vinco cria linhas de dobragem precisas, essenciais para a montagem correcta e para garantir que a embalagem mantenha as dimensões especificadas. O molde contém laminas afiadas para o corte e trilhos arredondados para o vinco. Este

processo permite criar embalagens com formatos não convencionais, janelas, curvas, fechos especiais, encaixes internos, etc.

Existem dois tipos principais de corte e vinco:

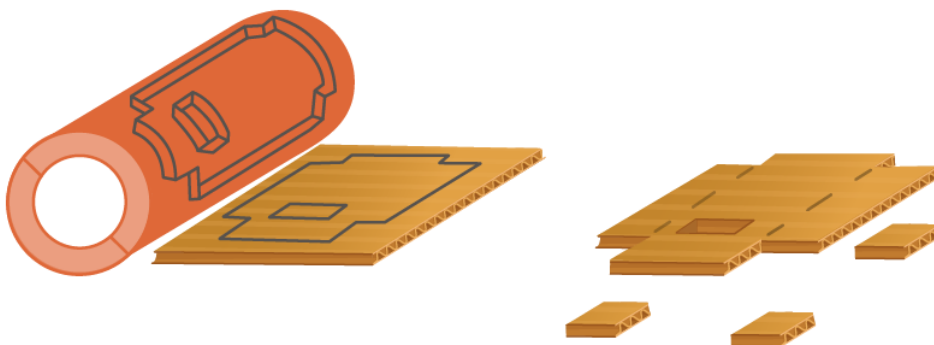
- Corte rotativo: ideal para grandes volumes e formatos menos complexos.
- Corte plano: mais adequado para formatos complexos ou exigências especiais, como orifícios, ventilação, alças ou recortes personalizados.

Algumas destas máquinas combinam o processo de corte da forma da caixa com uma unidade que remove automaticamente o desperdício.

Para modelos de caixas mais elaborados, são utilizadas matrizes personalizadas, compostas por lâminas afiadas e linhas de vinco montadas sobre placas de madeira ou metal. Estas matrizes estampam o papelão, cortando e vincando simultaneamente com elevada precisão.

Por outro lado, para modelos mais simples ou produção em série, recorre-se frequentemente a máquinas de corte e vinco longitudinais, equipadas com lâminas rotativas e cabeçotes de vinco. Estas permitem cortar o cartão na largura adequada e criar as linhas de dobra em operações contínuas, com grande produtividade.

A precisão nesta etapa é crucial, pois qualquer desvio afecta a montagem da caixa, o seu desempenho estrutural e a apresentação final. Este processo representa a transição da matéria-prima laminada para uma embalagem funcional, preparada para receber impressão, colagem e montagem final.



*Figura 16: Representação do corte rotativo do papelão. Nota: Imagem reproduzida de FEFCO, s.d.*

#### 2.10.11 Empilhadores/Paletizadores

Após a produção, estas máquinas auxiliam na organização e empilhamento das caixas para o transporte ou armazenamento, otimizando o fluxo de trabalho e reduzindo o esforço manual. Existem diferentes tipos de paletizadores como:

- Paletizadores robóticos que utilizam braços robotizados para apanhar e posicionar as caixas com precisão.

- Paletizadores por camadas que constroem uma camada completa de produtos antes de a transferirem para o palete.



Figura 17:Paletizador Nota: Imagem reproduzida de Alibaba, s.d

#### 2.10.12 Máquina de Cintar

Uma máquina de cintar (ou arqueadora) é um equipamento que aplica e sela uma cinta (pode ser plástica ou metálica) à volta de um ou mais itens. O objectivo é agrupar, fixar, compactar e estabilizar a carga, seja um conjunto de caixas individuais, um fardo de produtos, ou um palete completo. A cinta é tensionada e depois selada, garantindo que os produtos permaneçam juntos e seguros durante o manuseio, transporte e armazenamento (HUAYU, s.d.). Existem máquinas de cintar manuais, semiautomáticas e automáticas, incluindo as máquinas de cintar paletes, que aplicam cintas verticais ou horizontais em cargas já paletizadas.



Figura 18:Máquina de cintar. Nota: Imagem reproduzida de Alibaba, s.d.

## 2.11 Adesivos

De acordo com a EIRI (s.d.), para que um material desempenhe a função de adesivo na colagem de papel, deve satisfazer pelo menos quatro requisitos principais:

- 1) Humedecer as superfícies: o adesivo deve ter fluidez suficiente para se espalhar uniformemente sobre as superfícies do papel, preenchendo os poros e deslocando o ar e quaisquer impurezas.
- 2) Aderir ao papel: após o espalhamento, o adesivo deve fixar-se à superfície do papel, tornando-se suficientemente pegajoso para manter as folhas unidas antes da secagem completa.
- 3) Desenvolver resistência: o adesivo deve então transformar-se estruturalmente, adquirindo força coesiva e assegurando uma união sólida entre as folhas, sem perder flexibilidade.
- 4) Manter estabilidade: o adesivo aplicado ao papel deve resistir ao envelhecimento, à humidade, às variações de temperatura e outros factores ambientais, garantindo a durabilidade da colagem ao longo do tempo.

Este conjunto de requisitos é importante na produção do papelão, onde a qualidade da colagem influencia directamente o desempenho e a aparência do produto final.

As matérias-primas para adesivos são bastante diversas, no geral podem ser classificadas em duas grandes categorias: natural e sintético.

### 2.11.1 Adesivo Natural

São derivados de fontes orgânicas e incluem:

- Amido e dextrina: derivados de cereais como a soja, tapioca, trigo, etc.
- Gomas vegetais: como a goma arábica.
- Borracha natural: derivada de um líquido chamado látex, que é extraído de certas árvores.
- Cola de origem animal: obtidas do colágeno de pele, ossos e outros tecidos.
- Caseína: proteína do leite.
- Albumina: proteína do ovo.

### 2.11.2 Adesivo Sintético

São formulados através de polímeros criados em laboratório e dominam o mercado actual devido à sua versatilidade e desempenho superior em diversas condições. As

principais matérias-primas base são polímeros aos quais são adicionados vários aditivos.

Exemplos incluem:

- Poli acetato de vinilo (PVA): também conhecido como cola branca, amplamente usada na colagem de papelão.
- Polietileno: usado como base para adesivos termofusíveis (*hot melt*) em embalagens.
- Polipropileno: também utilizado em adesivos termofusíveis.
- Etileno-vinil acetato (EVA): aplica-se directamente a caixas de papelão.
- Silicatos solúveis: embora inorgânicos, são relativamente económicos.

## 2.12 Tipos de Adesivos: Mecanismos e Composições

No fabrico de caixas de papelão, os adesivos podem ser classificados de acordo com a forma como formam a sua ligação e a sua composição. Os principais tipos são os quimicamente reactivos, os que curam por evaporação ou difusão, e os de base aquosa.

### 2.12.1 Adesivos Quimicamente Reactivos

Formam uma ligação através de uma reacção química que ocorre no momento da aplicação ou após ela. Nesta categoria elas podem ser:

- Adesivos Termofusíveis Reactivos: são uma categoria avançada de *hot melts*. Ao contrário dos termofusíveis tradicionais que apenas solidificam por arrefecimento, os reactivos primeiro arrefecem (garantindo uma adesão inicial rápida) e depois reagem quimicamente com a humidade do ar ou do substrato para formar uma ligação reticulada permanente. Isso confere-lhes maior resistência a temperaturas extremas, produtos químicos e humidade. Embora mais comuns em aplicações que exigem alto desempenho (como automóveis, electrónica), estão a ser cada vez mais usados em embalagens que requerem durabilidade excepcional.
- Adesivos de Poliuretano (PU): são reactivos e curam com a humidade do ar ou com a mistura de dois componentes. Oferecem adesão e flexibilidade, sendo usados onde se exige maior resistência.

### 2.12.2 Adesivos de Evaporação ou Difusão

Estes adesivos contêm um solvente que evapora ou é absorvido pelo substrato, deixando para trás os componentes adesivos que formam a ligação com os:

- Adesivos à base de solvente: consistem em polímeros dissolvidos num solvente orgânico. A ligação ocorre à medida que o solvente evapora. Embora ofereçam boa adesão e velocidade de aplicação em alguns casos, o seu uso na produção de caixas de papelão é menos comum hoje devido a preocupações ambientais e de saúde. Podem ser encontrados em certas aplicações de fitas ou etiquetas.
- Adesivos de difusão: embora o termo "difusão" possa ser mais abrangente, alguns adesivos funcionam pela difusão das moléculas do adesivo para dentro do substrato. Adesivos de contacto, por exemplo, são aplicados em ambas as superfícies e só aderem quando o solvente evapora e as superfícies são pressionadas juntas. No contexto de caixas de papelão, este mecanismo é mais uma variação do que um tipo distinto e principal de adesivo, sendo mais relevante para adesivos que colam materiais não porosos.

### 2.12.3 Adesivos de Base Aquosa

São os mais prevalentes no fabrico de caixas de papelão, especialmente nas fases de laminação e formação da caixa. A água actua como veículo para as partículas de polímero ou amido. A ligação forma-se quando a água é absorvida pelo papelão ou evapora, permitindo que as partículas adesivas se unam como por exemplo:

- Adesivos à base de amido: são os mais comuns na indústria de papelão. São soluções ou dispersões de amido em água. A sua cura envolve a absorção da água pelo papel e a subsequente secagem.
- Poli acetato de vinilo (PVA): são dispersas em água. Ao secar, a água evapora e as partículas de polímero coalescem para formar uma película adesiva forte. Oferecem boa aderência e são versáteis, sendo uma alternativa mais ecológica aos adesivos à base de solvente. Silicatos solúveis: são soluções aquosas de silicatos de sódio, que formam uma ligação rígida quando a água evapora. São económicos e historicamente usados na colagem de papelão.

A escolha entre estes tipos depende das exigências específicas da aplicação, como a velocidade da linha de produção, a resistência final desejada, as condições ambientais, e considerações de custo e sustentabilidade.

## 2.13 Preparação da Superfície

A eficácia da colagem no papelão é fundamental para a integridade e resistência das caixas, seja na formação da chapa ou na montagem final da caixa. Para que a colagem

seja eficaz, o adesivo deve humedecer intimamente a superfície dos cumes da flauta, bem como a área correspondente no revestimento a que será colado. Esta aplicação precisa garantir uma ligação forte onde a estrutura do papelão precisa de apoio. Adicionalmente, é essencial que se forme uma ligação química robusta entre o adesivo e as fibras do papelão nessas áreas de contacto.

Para satisfazer estas condições, as superfícies do papelão, tanto os cumes da flauta como a superfície do revestimento, têm de estar limpas, razoavelmente lisas e quimicamente receptivas ao adesivo escolhido. A preparação da superfície não é um passo opcional, mas um processo crucial que garante que as áreas de contacto estejam nas condições ideais para a adesão. Isto significa que qualquer sujidade, pó, gordura ou outros contaminantes presentes que muitas vezes são invisíveis a olho nu devem ser removidos dos pontos onde o adesivo será aplicado.

A qualidade e a durabilidade da ligação dependem enormemente dessa preparação localizada. Se o adesivo for capaz de suportar as condições a que a caixa será submetida (humidade, temperatura, esforços), a sua vida útil será directamente proporcional à qualidade da preparação da superfície nessas áreas críticas. É por isso que, mesmo o adesivo de melhor qualidade, pode resultar numa colagem fraca se a superfície do papelão nos cumes da flauta não tiver sido preparada correctamente.

A preparação da superfície permite que o adesivo molhe a superfície "verdadeira" do papelão nos pontos de contacto, e não apenas uma camada superficial de contaminantes. No caso do papelão, isto geralmente envolve controlar o pó de corte, a absorção de humidade e a presença de resíduos de óleos ou silicões, que podem comprometer severamente a adesão.

A remoção de contaminantes e a preparação da superfície do papelão para uma colagem eficaz envolvem, primariamente, o controlo da matéria prima e dos processos de fabrico. Não é apenas sobre a limpeza, mas também a prevenção.

### 2.13.1 Controlo da Qualidade da Matéria-Prima

O papel utilizado para fazer o papelão deve ser produzido com o mínimo de pó e detritos. As fábricas de papel implementam sistemas de aspiração e filtragem rigorosos durante a produção para minimizar a presença de partículas soltas que possam interferir na colagem. O próprio processo de fabrico do papel inclui etapas que garantem uma superfície relativamente limpa. O uso de aditivos e o controlo da formação da folha visam uma superfície lisa e uniforme. O papelão que chega para o processo de colagem na

onduladora ou para o fabricante de caixas deve estar livre de óleos, gorduras ou outros resíduos. Isso é assegurado por meio de boas práticas de armazenamento e manuseio, evitando o contacto com fontes de contaminação. Se houver contaminação por óleos em larga escala, o rolo de papel (ou folha) pode ser rejeitado, pois é muito difícil remover óleos das fibras de papel sem comprometer a sua integridade ou absorção.

### 2.13.2 Tratamento Mecânico e Físico

Durante o processo na onduladora, antes da aplicação do adesivo, é comum que haja sistemas de aspiração e escovas rotativas que removem qualquer pó solto ou pequenas fibras da superfície do papel, especialmente nos cumes da flauta, onde o adesivo será aplicado. Isso garante que o adesivo entre em contacto directo com as fibras do papelão e não com uma camada de pó.

Manter a tensão correcta dos rolos gigantes de papel e das folhas durante o processo ajuda a garantir que a superfície se apresente de forma uniforme, sem dobras ou rugas que possam comprometer a área de contacto para a colagem.

Jactos de ar comprimido com pressão, muitas vezes direccionados por bicos, são usados para soprar o pó, pequenas fibras e detritos que se acumulam nas superfícies do papelão, especialmente nos cumes da flauta antes da aplicação do adesivo. Isso garante que a área de contacto esteja o mais limpa possível para uma adesão óptima.

Além de limpar o material, o ar comprimido é vital para a limpeza regular das máquinas, como transportadores, rolos e outras partes que possam acumular resíduos de papel e adesivo.

### 2.13.3 Tratamento Químico

Embora não sejam limpezas directas de contaminantes, os tratamentos químicos aplicados durante a produção do papel são cruciais para a receptividade química da superfície ao adesivo:

- Colagem superficial: o papel pode receber um tratamento superficial com substâncias como amido ou outras emulsões poliméricas. Este tratamento ajuda a controlar a porosidade e a absorção de líquidos pelo papel, garantindo que o adesivo não seja absorvido demasiado rápido (o que enfraqueceria a ligação) nem demasiado lento (o que dificultaria a adesão). Também pode aumentar a resistência superficial do papel, reduzindo o *linting* (soltura de pequenas fibras).

- Agentes de colagem interna: adicionados durante a fabricação da pasta de papel, estes agentes reduzem a absorção de água de forma geral, o que é importante para a integridade do papel e para o controlo da cura de adesivos à base de água.

## 2.14 Impressão

A impressão permite que a marca, informações do produto, instruções de manuseio ou arte decorativa sejam aplicadas à superfície da caixa (FEFCO, s.d.). A forma como uma caixa de papelão é impressa tem um impacto significativo na sua aparência final, custo e flexibilidade de produção. As três tecnologias usadas para a impressão em caixas de papelão são: flexografia, *offset* litográfico e a impressão digital. A escolha da tecnologia ideal depende de factores como o volume de produção, a qualidade gráfica desejada e a necessidade de personalização.

### 2.14.1 Flexografia

A flexografia é o método mais utilizado na indústria de caixas de papelão. É um processo de impressão em relevo, que funciona de forma semelhante a um carimbo. A tinta é transferida de uma chapa flexível (chamada de cliché e feita de um fotopolímero) montada em um cilindro. As áreas em alto relevo do cliché recebem a tinta e a transferem directamente para a superfície de chapa de papelão. As tintas são de secagem rápida, geralmente à base de água. Este método é amplamente usado para imprimir directamente na chapa do papelão, é ideal para desenhos com cores solidas, textos e gráficos simples. É o método padrão para a maioria das caixas de papelão.

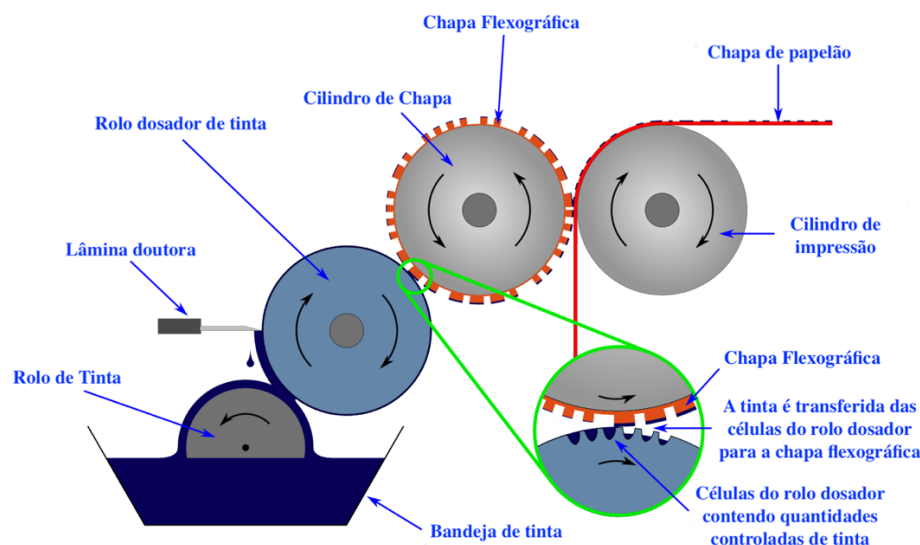


Figura 19: Diagrama do processo de impressão flexográfica. Nota: Adaptado de Wikimedia Commons, por ECTran71, 2022. Licenciado sob CC BY-AS 4.0

#### Vantagens da impressão flexográfica:

- Custo-benefício: muito económica para medias e grandes tiragens.
- Alta velocidade de produção: permite imprimir directamente sobre a chapa de papelão já formada, com altas velocidades de linha, o que torna perfeita para ambientes industriais de produção contínua e com prazos curtos.
- Versatilidade de materiais: permite impressão em caixas feitas com diferentes tipos de flauta (A, B, C, E, etc.), ou combinações como BC ou EB. Isso inclui chapas com gramagens variadas e diferentes níveis de conteúdo reciclado.
- Adaptação à superfície: o cliché flexível adapta-se bem à textura irregular da superfície do papelão, reduzindo falhas na impressão.

#### Desvantagens da impressão flexográfica:

- Qualidade de imagem limitada: a flexografia não atinge a mesma definição que a litografia offset ou a impressão digital, especialmente em imagens fotográficas ou com detalhes muito finos. É comum a ocorrência do chamado efeito “tábua de lavar”, em que as ondulações da flauta se tornam visíveis na superfície impressa, prejudicando o acabamento gráfico.
- Custos dos clichés: embora os clichés sejam reutilizáveis e o seu custo se dilua em grandes tiragens, o investimento inicial pode ser significativo. Isto representa uma barreira para séries curtas ou personalizações frequentes, uma vez que cada alteração no grafismo exige um novo conjunto de chapas.



Figura 20: Impressora flexográfica. Nota: Imagem reproduzida da Wikimedia Commons, por Soma Engineering, 2013. Licenciado sob CC BY-AS 3.0

### 2.14.2 Impressão *Offset*

A impressão *offset* é um método de impressão indirecto, conhecida por sua alta qualidade gráfica, sendo método preferido para embalagens que precisam de um apelo visual elevado, muitas vezes em pontos de venda. A imagem é transferida de uma chapa metálica para uma blanqueta de borracha e, em seguida, da blanqueta para o papel. A tinta e a água se repelem, definindo as áreas de imagem e não imagem na chapa.

Vantagens da impressão *offset*:

- Qualidade fotográfica superior: oferece excelente resolução, cores vibrantes, detalhes nítidos e transições suaves, tornando-a ideal para imagens complexas e *marketing* de marca.
- Elevada consistência cromática: garante uma uniformidade de cor notável, mesmo em tiragens extensas, assegurando a fidelidade à identidade visual da marca em grandes volumes de caixas.
- Abertura a acabamentos especiais: permite a aplicação de diversos acabamentos pós-impressão, como vernizes UV, laminação (plastificação) e relevo que conferem um visual diferenciado às caixas de papelão.

Desvantagens da impressão *offset*:

- Custo inicial elevado: o investimento associado à preparação inicial (produção de chapas e ajustes da máquina) é considerável, o que torna esta tecnologia menos competitiva para pequenas tiragens de caixas.
- Elevado tempo de preparo: o tempo para preparar a máquina é maior, o que pode atrasar a produção para trabalhos urgentes ou de baixo volume.
- Processo disjunto da linha de produção: exige que a impressão seja feita em uma etapa separada (pré-impressão, que depois é laminado ao ondulado).



Figura 21: Impressora *offset* Ryobi. Nota: imagem reproduzida da Vohvelirauta, 2005. (Domínio Público)

### 2.14.3 Impressão Digital

A impressão digital é a tecnologia mais recente a ser integrada na indústria de papelão e tem vindo a ganhar destaque graças à sua grande flexibilidade, alta qualidade de imagem e capacidade de personalização individual.

Na impressão digital, a imagem é transferida directamente de um ficheiro digital para a impressora, sem necessidade de chapas ou clichés. Utiliza tintas líquidas ou em pó (toner), que são aplicadas e fixadas na superfície do revestimento do papelão. Geralmente é ideal para pequenas e médias tiragens, protótipos, embalagens personalizadas, campanhas promocionais e desenhos com dados variáveis por exemplo nomes de clientes, código QR, etc.

Vantagens da impressão digital:

- Flexibilidade e personalização total: permite a impressão de conteúdos variáveis, ideal para campanhas direccionadas e tiragens diferenciadas.
- Sem custos de chapas/clichés: ideal para series curtas ou com mudanças frequentes de grafismo, dado que elimina o custo e tempo de preparação das ferramentas.
- Produção sob demanda: tempo de arranque reduzido e baixa necessidade de stock, facilitando a produção *just-in-time* e diminuindo o desperdício.
- Qualidade de imagem superior: permite alcançar resolução fotográfica e detalhe fino, muitas vezes equiparável à litografia e sem efeito de “tabua de lavar”, desde que se use uma superfície lisa ou tratada.

Desvantagens da impressão digital:

- Custo elevado por unidade: o custo unitário tende a ser mais alto do que em processos tradicionais como a flexografia ou litografia, sobretudo em grandes tiragens.
- Velocidade de produção inferior: a cadencia de produção ainda é mais lenta em comparação com os métodos convencionais, o que limita a sua aplicação em volumes elevados.
- Limitações nas tintas: dependendo da tecnologia usada, as tintas podem apresentar menor resistência à abrasão, à humidade ou à radiação UV, sendo necessário aplicar vernizes ou laminações em certos casos.

## 2.15 Pré-impressão

A pré-impressão é o processo em que a camada exterior do papelão é impressa antes de ser combinada com a flauta para formar a estrutura laminada. Este processo é efectuado em grandes rolos de papel, recorrendo a tecnologias como flexografia de tambor central, *offset*, ou rotogravura, permitindo uma qualidade gráfica superior.

Vantagens da pré-impressão:

- Qualidade gráfica superior: permite imagens em alta resolução, cores mais vivas e registo de cor mais preciso, semelhante à impressão de revistas.
- Maior consistência cromática: ideal para volumes elevados e marcas que exigem uniformidade global na reprodução de identidade visual.
- Evita o esmagamento da flauta: como a impressão ocorre antes da formação da estrutura ondulada, não se aplica pressão sobre a flauta já formada, preservando a espessura do papelão e a sua resistência à compressão vertical.
- Permite grafismos complexos: adequada para desenhos intrincados, fotografias e gradientes com elevada fidelidade.
- Economia para grandes tiragens: apesar do custo inicial mais elevado, torna-se mais económica quando diluída por volumes significativos de produção.

Desvantagens da pré-impressão:

- Investimento inicial elevado: requer chapas de impressão especializadas e preparação complexa.
- Menor flexibilidade para alterações: modificações no desenho implicam produção de novas chapas, tornando-a menos viável para tiragens pequenas ou personalizações rápidas.
- Ciclo de produção mais demorado: devido à necessidade de imprimir o revestimento separadamente antes da laminação e formação da chapa de papelão.

## 2.16 Pós-Impressão

A pós-impressão é o método mais comum na indústria do papelão. Neste caso, a impressão é realizada directamente sobre a chapa de papelão já formada, ou seja, com as flautas já coladas entre os revestimentos. O método mais utilizado é a impressão flexográfica, com equipamentos planos ou rotativos.

Vantagens da pós-impressão:

- Custo mais acessível: geralmente mais económica para tiragens pequenas e médios, com menor custo de preparação.

- Maior flexibilidade: permite alterações rápidas no grafismo, ideal para campanhas promocionais ou personalizações.
- Versatilidade: aplicável em diferentes tipos de flauta e espessuras de papelão.
- Rapidez no processo: a impressão pode ser combinada com a conversão (corte, vinco, colagem) numa mesma linha de produção, reduzindo o tempo total.

Desvantagens da pós-impressão:

- Menor qualidade gráfica: limitações em termos de resolução, fidelidade cromática e capacidade de reproduzir detalhes finos.
- Potencial de esmagamento da flauta: a pressão exercida pela prensa pode deformar parcialmente a flauta, reduzindo a espessura efectiva e a resistência ao empilhamento.
- Limitação cromática: frequentemente limitada a 1-3 cores, com maior dificuldade em registo preciso.

*Tabela 5: Comparativo entre pré-impressão e pós-impressão em caixas de papelão*

<b>Característica</b>	<b>Pré-Impressão</b>	<b>Pós-Impressão</b>
Qualidade Gráfica	Boa	Moderada
Custo Inicial	Alto	Baixo
Flexibilidade de Alteração	Reduzida	Elevada
Preservação da Flauta	Sem contacto	Causa esmagamento
Tempo de Produção	Processo separado	Mesma linha
Tiragens	Grandes	Pequenas a médias

## **2.17 Impressão ou Rotulagem sob Demanda**

A preferência de alguns compradores por caixas não impressas de tamanho padrão, para impressão ou rotulagem sob demanda, reflecte uma estratégia de optimização da cadeia de suprimentos e marketing. A caixa é adquirida sem impressão, ou com impressão mínima como o código de barras, e no momento de necessidade, aplica a impressão ou rótulo específico para o produto, a promoção ou até mesmo para o cliente final. Isto geralmente é feito através da impressão digital ou rotulagem (etiquetagem).

Vantagens da Impressão sob demanda:

- Máxima flexibilidade e agilidade: permite alterações rápidas, e personalizações específicas sem necessidade de produzir grandes lotes.

- Redução de inventários: elimina a necessidade de manter grandes inventários de caixas pré-impresos para diferentes produtos ou campanhas, poupando espaço de armazém e reduzindo custos de capital imobilizado.
- Minimização de desperdício: imprime-se apenas o que é necessário, quando necessário.
- Testes de mercado: ideal para testar novos produtos com baixo risco de custo.
- Personalização: possibilita *marketing* directo e experiências personalizadas para o cliente.
- Optimização de custos para pequenas tiragens: elimina os custos de chapas de impressão tornando-a muito competitiva para volumes menores.

Desvantagens da impressão sob demanda:

- Custo por unidade: o custo por unidade pode ser mais elevado em grandes volumes, comparado à flexografia pré-impreso.
- Velocidade de aplicação (Etiquetas): a aplicação de rótulos pode ser mais lenta do que a impressão directa para volumes muito altos.
- Durabilidade da etiqueta: as etiquetas podem ser susceptíveis a danos ou descolagem em ambientes agressivos, dependendo da qualidade do adesivo e do material da etiqueta.

## 2.18 Revestimentos Especiais

Tratamentos de superfície podem ser aplicados às caixas de papelão para melhorar a sua funcionalidade ou aparência. A laminação, que envolve a aplicação de uma fina camada de filme plástico ou metálico na superfície, pode fornecer resistência adicional, protecção contra humidade, resistência à água ou um acabamento brilhante (Custom Packaging NYC, s.d.). Também é comum o uso de vernizes ou revestimentos protectores, aplicados por máquinas envernizadoras ou sistemas de rolo e pulverização, que melhoram a qualidade da impressão, protegem contra arranhões e podem adicionar uma textura específica à caixa.

Em embalagens destinadas à indústria alimentar, cosmética ou farmacêutica, é frequente a aplicação de revestimentos metalizados, especialmente folhas de alumínio laminadas. Estes proporcionam uma excelente barreira contra oxigénio, vapor de água e luz, essenciais para conservar alimentos sensíveis e evitar contaminações. A aplicação é feita por laminadoras especializadas, com uso de adesivos termoactivos.

Tabela 6: Tipos de revestimentos superficiais em caixas de papelão

<b>Tipo de Revestimento</b>	<b>Função Principal</b>	<b>Aplicações Comuns</b>
<b>Laminação plástica</b>	Resistência à água, brilho, barreira física	Embalagens de impressão com alta qualidade
<b>Verniz (base aquosa ou UV)</b>	Protecção contra abrasão, brilho ou efeito mate	Caixas para alimentos secos, bebidas, cosméticos
<b>Revestimento anti deslizando</b>	Prevenção de escorregamento em paletização	Caixas de transporte empilhadas
<b>Laminação com folha de alumínio</b>	Barreira a oxigénio, vapor e luz	Indústria alimentar e farmacêutica
<b>Revestimento termoselante</b>	Selagem térmica, compatibilidade com linhas automáticas	Embalagens alimentares industriais
<b>Revestimento antimicrobiano</b>	Inibição de crescimento microbiano na superfície	Embalagens para produtos perecíveis, carne, peixe

## 2.19 Normas e Regulamentos da Indústria

A indústria de produção de caixas de papelão é regulada por um conjunto abrangente de normas técnicas elaboradas por entidades nacionais e internacionais, com o objectivo de garantir a qualidade, segurança, desempenho e sustentabilidade ambiental dos produtos. Estas normas estabelecem critérios técnicos para a fabricação, ensaio e especificação dos materiais, promovendo simultaneamente a harmonização técnica e a confiança nas transacções comerciais globais.

A *ASTM International (American Society for Testing and Materials)* é uma das mais influentes organizações normalizadoras do sector. Reconhecida mundialmente, desenvolve normas voluntárias por consenso, que abrangem métodos de ensaio, especificações e práticas recomendadas para uma vasta gama de materiais e produtos, incluindo o cartão ondulado e as caixas de papelão (Snap-on, s.d.).

A Organização Internacional de Normalização (ISO) constitui um organismo internacional proeminente, com membros nacionais em mais de 160 países, responsável pelo desenvolvimento de normas aplicáveis a diversos sectores industriais. No domínio das embalagens, as normas ISO promovem a consistência global da qualidade e do desempenho dos produtos, facilitando a sua aceitação nos mercados internacionais (Snap-on, s.d.).

A TAPPI (*Technical Association of the Pulp & Paper Industry*) é uma associação técnica profissional sediada nos Estados Unidos, dedicada às indústrias da pasta, do papel e do cartão. Esta entidade desenvolve normas técnicas, métodos de ensaio e orientações específicas aplicáveis à avaliação do desempenho físico e estrutural dos materiais fibrosos utilizados em embalagens.

Nos Estados Unidos, a FBA (*Fibre Box Association*) constitui a principal associação representativa dos fabricantes de caixas de papelão ondulado. Para além de disponibilizar estatísticas do sector e recomendações operacionais, a FBA emite directrizes práticas para aspectos como o design estrutural, a resistência ao empilhamento, e a sustentabilidade (Snap-on, s.d.).

Na Europa, a FEFCO (*Fédération Européenne des Fabricants de Carton Ondulé*) representa os fabricantes europeus de cartão ondulado, promovendo os seus interesses junto das entidades reguladoras e comerciais. A FEFCO é também responsável pela publicação do conhecido Catálogo FEFCO-ESBO, que normaliza os estilos de caixas para simplificar a comunicação técnica entre produtores e clientes (Dusobox, 2021).

A nível nacional, entidades como a DIN (*Deutsches Institut für Normung*), na Alemanha, mantêm normas relevantes para a indústria de embalagens. Estas normas DIN definem requisitos para propriedades físicas dos materiais, métodos de ensaio e critérios de desempenho específicos, sendo largamente adoptadas em mercados com elevado grau de exigência técnica.

A conformidade com os referenciais técnicos definidos por estas organizações — ASTM, ISO, TAPPI, FBA, FEFCO e DIN — é essencial para assegurar que as caixas de papelão satisfaçam os requisitos funcionais, legais e comerciais, garantindo a sua competitividade nos mercados locais e internacionais.

Para além das organizações responsáveis pela padronização no sector das embalagens de papelão, importa destacar as normas técnicas específicas que regem as propriedades físicas e mecânicas dos materiais, assim como as práticas de fabrico, ensaio e selecção de materiais. Estas normas são fundamentais para garantir a fiabilidade e a qualidade do produto final.

No âmbito das normas ISO, destacam-se:

- ISO 536 – Gramagem (massa por unidade de área): determina o peso do papel ou cartão por metro quadrado ( $\text{g/m}^2$ ), sendo um parâmetro crítico para classificação do material e cálculo de custos, resistência e adequação ao uso.

- ISO 534 – Espessura e densidade aparente: avalia a espessura (calibre) do material e a sua densidade aparente ( $\text{g/cm}^3$ ), afectando a rigidez estrutural, o comportamento nas máquinas de conversão e a resistência ao empilhamento.
- ISO 287 – Teor de Humidade: estabelece o conteúdo de humidade do papel, influenciando directamente a colagem, o peso, a estabilidade dimensional e a integridade estrutural da embalagem.
- ISO 2470 – Brancura (reflectância ISO): mede a reflectância da luz azul, sendo essencial para embalagens visuais e de marketing, uma vez que afecta a qualidade de impressão e o aspecto estético.
- ISO 2758 – Resistência ao estouro: determina a pressão necessária para romper o material, sendo especialmente relevante em contextos logísticos com pressões internas elevadas ou manipulação intensiva.
- ISO 3035 – Espessura do Papelão Ondulado: especifica a medição da espessura total do cartão ondulado, um parâmetro vital para o controlo de qualidade e compatibilidade com equipamentos automáticos.
- ISO 3037 – Ensaio de Resistência ao Esmagamento na Borda (ECT): indica a capacidade de carga de uma caixa durante o empilhamento, representando uma das métricas mais relevantes para o dimensionamento de embalagens industriais.
- ISO 535 – Absorção de Água (Ensaio COBB): avalia a quantidade de água absorvida pela superfície do papelão, sendo crucial em embalagens destinadas a ambientes húmidos, como alimentos frescos ou produtos refrigerados.

Estas normas ISO são amplamente adoptadas no sector, funcionando como um referencial de desempenho e segurança, promovendo a harmonização técnica internacional e a interoperabilidade entre mercados.

Paralelamente, as normas ASTM, particularmente relevantes nos mercados norte-americanos e em contextos de exportação, complementam as ISO com foco específico na prática industrial:

- ASTM D1974 – define os métodos normalizados para fecho, selagem e reforço de caixas de papelão, incluindo fitas adesivas, grampos, colas e cintas, assegurando a integridade estrutural no transporte.
- ASTM D4727 – estabelece requisitos técnicos mínimos para o papelão ondulado ou sólido utilizado como matéria-prima, padronizando a qualidade e promovendo rastreabilidade.

- ASTM D5118 – apresenta práticas normalizadas para o fabrico de caixas de expedição, abrangendo corte, vinco, dobragem e colagem, sendo amplamente utilizada para conformidade técnica com outros referenciais ASTM.
- ASTM D5168 – aplica-se ao fabrico e fecho de caixas de parede tripla, direccionadas para aplicações de alta exigência, como produtos pesados ou perigosos.
- ASTM D5639 – orienta a selecção de materiais de papelão com base em requisitos funcionais, como resistência, empilhamento, exposição à humidade ou condições de transporte.
- ASTM D6804 – orienta a concepção ergonómica de pegadas em caixas, garantindo segurança, usabilidade e resistência estrutural, sem comprometer a integridade do conjunto.

#### 2.19.1 Ensaio de Resistência ao Esmagamento na Borda (ECT)

Este ensaio é um método padronizado que mede a resistência de uma amostra do papelão à compressão aplicada na sua borda vertical, perpendicular à direcção da flauta. Este ensaio simula a forma como o material se comporta sob carga vertical, como ocorre durante o empilhamento em armazenamento ou transporte.

A amostra, geralmente com 25.4 mm de largura, é submetida a compressão comprimida entre duas placas até o seu colapso. O valor registado corresponde à força máxima suportada em libras força por unidade de largura, ou conforme a norma TAPPI, simplesmente ECT.

Este parâmetro é considerado um indicador crítico da capacidade de empilhamento das caixas, estando fortemente relacionado com o desempenho estrutural da embalagem durante a sua utilização.

#### 2.19.2 Ensaio de Compressão da Caixa

O ensaio de compressão da caixa (BCT) mede directamente a carga máxima que uma caixa montada pode suportar antes de colapsar sob compressão vertical. O ensaio é realizado numa prensa equipada com placas paralelas, que aplicam força crescente na parte superior e inferior da caixa até à falha estrutural.

O valor obtido representa a capacidade de carga máxima de empilhamento de uma caixa completa, considerando as características reais de fabrico, como tipo de junta, orientação da flauta e qualidade da montagem.

A fórmula do McKee, desenvolvida empiricamente em 1963, permite estimar o valor do BCT a partir de dados laboratoriais do material (ECT) e das dimensões da caixa (McKee et al., 1963, citado por Boacã et al., 2021).

A versão simplificada da fórmula é:

$$BCT = k \cdot ECT \cdot \sqrt{P \cdot t} \quad (1)$$

onde: ECT - é a resistência ao esmagamento na borda em lbf/in; t - é a espessura do papelão em polegadas; P - é o perímetro da caixa em polegadas; k - é uma constante empírica, geralmente usa-se 5,87 para caixas de aba normal de parede simples.

Esta equação é largamente empregue durante a fase de dimensionamento das embalagens, pois permite prever o desempenho da caixa sem recurso a ensaios destrutivos. Contudo, cumpre notar que, na indústria a aplicação desta fórmula restringe-se a casos específicos. Adicionalmente, dado que os ensaios são conduzidos em condições ambientais controladas, os resultados obtidos nem sempre reflectem a realidade verificada durante a utilização da embalagem. De acordo com Twede e Harte (2011), grande parte do papelão perde parte da sua resistência quando exposto à humidade. Os autores recomendam, por conseguinte, a realização de ensaios adicionais sob condições de elevada humidade relativa.

Para que os valores de (BCT) possam servir de referência fiel, cumpre considerar diversos factores, tais como a humidade relativa, o modo de transporte, o tempo de armazenagem, entre outros. Para acomodar a influência destas variáveis, aplicam-se coeficientes de segurança que podem variar de 1,5 a 10, pelos quais o valor do BCT deverá ser dividido. Alguns destes valores encontram-se explicitados na norma ASTM D4169. É imperativo salientar que estudos realizados por Badar *et al.*, demonstram uma discrepância que pode atingir 50 por cento quando o valor teórico é verificado experimentalmente. Esta observação sublinha a necessidade de uma aplicação criteriosa da fórmula e a consideração dos factores correctivos em ambiente real de serviço. Actualmente, elementos finitos são utilizados para simular o comportamento de caixas de papelão. No entanto, devido à natureza não homogénea do papelão, esse método só fornece coeficientes específicos para cada caso após a realização de experimentos.

### 2.19.3 Teste de COBB

O teste de COBB é um método padronizado utilizado para medir a absorção de água de uma superfície de papel, cartão ou papelão corrugado durante um período de tempo específico. É um ensaio crucial para avaliar a resistência do material à penetração de

líquidos, o que é fundamental para embalagens de produtos sensíveis à humidade ou que entram em contacto com líquidos. O Teste de COBB recebe esse nome em homenagem ao seu inventor: F. N. Cobb.

Basicamente, o teste envolve expor uma área definida da amostra a uma quantidade controlada de água por um tempo determinado (geralmente segundos ou minutos, dependendo da norma). Após o período de exposição, o excesso de água é removido, e a amostra é pesada novamente. A diferença de peso antes e depois da exposição à água, expressa em gramas por metro quadrado ( $\text{g}/\text{m}^2$ ), indica a quantidade de água absorvida. Um valor de COBB mais baixo significa que o material absorveu menos água, indicando uma maior resistência à penetração de líquidos ou uma maior impermeabilidade superficial.

## **2.20 Reciclagem e Impacto Ambiental**

A caixa de papelão é um dos produtos mais reciclados no mundo. De acordo com a *American Forest and Paper Association* (AF&PF), estima-se que cerca de 71 a 76% do material pode ser recuperado.

A reciclagem de papelão é um processo chave para mitigar seu impacto ambiental. O processo normalmente começa com a colecta de papelão usado de várias fontes, como residências, empresas, e instalações industriais. Uma vez colectado, o papelão geralmente é levado a uma instalação de reciclagem onde passa por triagem para separar diferentes tipos de papelão e para remover quaisquer contaminantes, como fita adesiva, embalagens plásticas e resíduos de alimentos.

O papelão triado é então triturado em pedaços menores para aumentar sua área de superfície para a próxima etapa. O papelão triturado é misturado com água e produtos químicos em um grande tanque chamado *pulper* para quebrar as fibras, criando uma pasta. Essa pasta passa então por um processo de filtragem para remover quaisquer contaminantes restantes, como tinta, cola, agrafos e pequenos pedaços de plástico. A pasta limpa é então espalhada para secar em uma esteira transportadora plana e passa sobre superfícies cilíndricas aquecidas para remover o excesso de água. Esse processo de acabamento forma longas bobinas de folhas sólidas de cartão reciclado ou revestimento. Finalmente, essas bobinas de papel reciclado são enviadas aos fabricantes de embalagens, onde são usadas para criar o papelão que serão usadas para o fabrico de novas caixas de papelão. Esse processo de reciclagem de ciclo fechado ajuda a conservar recursos naturais e reduzir o desperdício (Mason, 2024).

A reciclagem do papelão contribui significativamente para a redução das emissões de gases com efeito de estufa, ao evitar a libertação de metano proveniente da decomposição do material em aterros. Adicionalmente, o fabrico de papelão a partir de fibras recicladas consome menos energia do que a produção com matérias-primas virgens, reforçando os benefícios ambientais desta prática (SL Recycling, 2025).

Neste contexto, indústria de papelão tem vindo a adoptar, de forma crescente, diversas práticas de sustentabilidade com o intuito de minimizar o seu impacto ambiental. Muitos fabricantes concentram-se actualmente no aumento da incorporação de materiais reciclados nos seus produtos, sendo que algumas caixas podem conter até 100% de fibras recicladas (Baywater Packaging, 2024).

Adicionalmente, a reciclagem ajuda a reduzir o problema de desmatamento, uma vez que, segundo Christiansen et al. (2019), citado por Fernando, (2024), “a produção de papel envolve desmatamento, consumo de água e emissão de gases efeito estufa”.

Estas diversas práticas de sustentabilidade evidenciam o compromisso da indústria do papelão em reduzir o seu impacto ambiental e em oferecer soluções de embalagem mais responsáveis do ponto de vista ecológico.

## **Capítulo 3. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO**

O planeamento e a implantação de uma unidade fabril requerem uma abordagem estratégica e multidisciplinar, que integre aspectos técnicos, económicos, logísticos e ambientais. É fundamental realizar estudos de viabilidade de modo que permitam avaliar a procura esperada. Além disso, uma análise detalhada dos recursos disponíveis podem influenciar a viabilidade da fábrica.

Para o dimensionamento de uma unidade fabril, devem ser considerados diversos factores, sendo os principais: a localização da fábrica, o plano de produção, os equipamentos de produção, as instalações, os mercados-alvo, o *layout*, fontes de energia, abastecimento de água, características dos edifícios, condições ambientais.

No entanto, é importante reconhecer que nem todos os factores serão sempre favoráveis, e será necessário encontrar um equilíbrio e fazer compromissos para garantir a sua viabilidade.

### **3.1 Localização da fábrica**

Uma localização estratégica para a instalação da unidade fabril é a zona franca do Parque Industrial de Beluluane situada na Cidade da Matola. Esta localização apresenta várias vantagens competitivas, nomeadamente o acesso facilitado à matéria-prima, a disponibilidade de mão-de-obra qualificada, a existência e acessibilidade de fontes de energia e combustíveis, bem como condições de vida adequadas na área envolvente. Acresce ainda a proximidade de fornecedores e do mercado consumidor, o que contribui para a eficiência logística e redução de custos operacionais.

De acordo com Knoema, (2017) citado por Berkel, H. & Penittinen, E. (2023), “a província e Cidade de Maputo representam conjuntamente cerca de um quarto do PIB de Moçambique em relação às nove províncias restantes”, o que reforça a relevância económica da região e justifica a escolha do local de instalação da unidade fabril.

### **3.2 Mercado**

Os principais mercados-alvo da unidade fabril são as indústrias manufactureiras em Moçambique, uma vez que estas necessitam de soluções de embalagem adequadas para a expedição dos seus produtos. Cada indústria apresenta requisitos distintos no que diz respeito à resistência, dimensões, e características específicas das caixas. No entanto,

é essencial que as caixas produzidas respeitem padrões dimensionais compatíveis com as paletes, de modo a otimizar o armazenamento e logística.

De acordo com Berkel, H. & Penittinen, E. (2023), “na maioria das indústrias [em Moçambique], mais de 50 por cento das empresas são de micro dimensão, o que evidencia a importância de oferecer um serviço flexível e adaptável às diferentes necessidades dos clientes. Além de servir o sector industrial formal, a unidade deverá também considerar as exigências do comércio informal, que, segundo os mesmos autores, “o sector informal desempenha um papel substancial na economia”. Esta realidade reforça a necessidade de capacidade de resposta a encomendas diversificadas, em lotes de diferentes volumes e especificações.

### 3.3 Estudo dos Fluxos

Os gráficos de fluxo do processo (GFP) são os primeiros elementos a serem usados num estudo ou numa pesquisa para determinar o processo ou a serie de factos ou movimentos, permitindo visualizar as relações de cada parte com o todo. Adicionalmente, os GFP possibilitam a eliminação de operações desnecessárias ou a introdução de elementos em falta, visando a realização da tarefa com maior eficiência.

#### 3.3.1 Gráfico do Fluxo de Processo tipo Esboço para a Produção da Chapa de Papelão

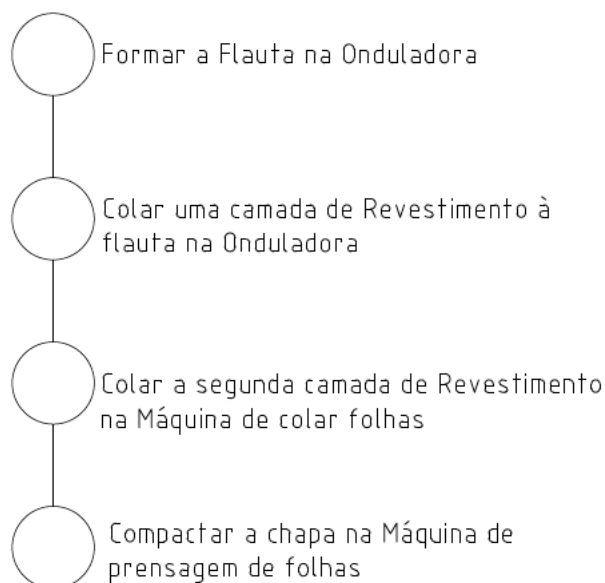


Figura 22: GFP tipo esboço para a produção da chapa de papelão. Autor

### 3.3.2 Gráfico do Fluxo de Processo para a Conversão das Chapas em Caixas

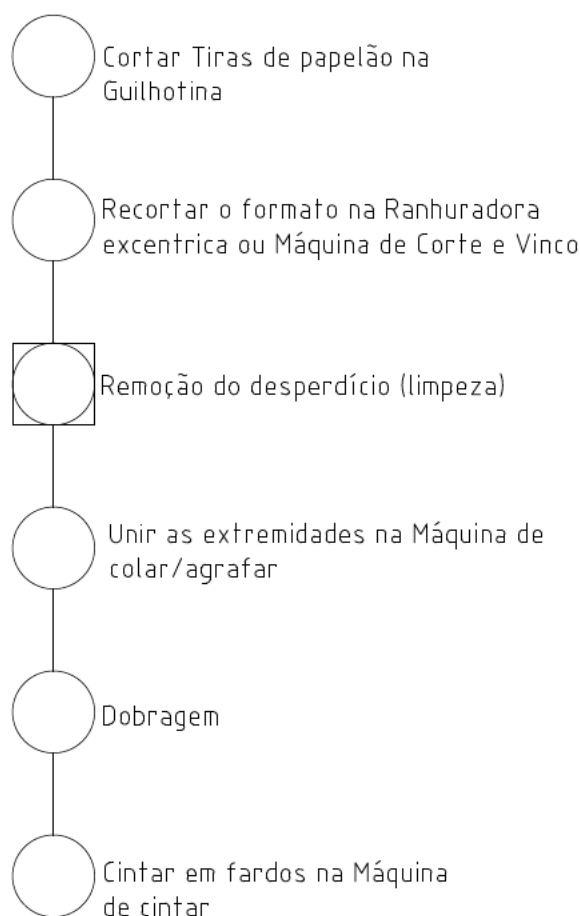


Figura 23: GFP tipo esboço para a conversão das chapas em caixas. Autor

### 3.3.3 Gráfico de Fluxo de processo tipo Material (Anexo I)

#### 3.4 Equipamento para a Produção

O equipamento da unidade fabril estará organizado duas secções principais: uma dedicada ao fabrico do papelão e outra destinada à subsequente conversão das chapas em caixas. Para a produção do papelão será utilizada uma máquina onduladora integrada, capaz de produzir chapas com dimensões previamente definidas, de acordo com os requisitos de produção.

A secção de conversão será composta por uma impressora digital, uma máquina de corte e vinco, uma ranhuradora excêntrica, e uma máquina de cintar com paletizador, que assegura o acondicionamento e agrupamento eficiente das caixas prontas para expedição. A escolha por um sistema de conversão compacto composto por máquina de corte e vinco, ranhuradora excêntrica e máquina de cintar, permite alcançar maior eficiência

operacional com ocupação otimizada do espaço físico e menor exigência de mão-de-obra técnica especializada.

Esta configuração permite alternar rapidamente entre diferentes tipos de caixas favorecendo a produção sob demanda, reduzindo desperdícios e adaptando-se com agilidade à dinâmica de um mercado caracterizado por uma forte presença do sector informal e da indústria transformadora de pequena escala.

### 3.4.1 Características Técnicas da Onduladora Integrada

Dada a tendência de crescimento do mercado, é conveniente investir numa onduladeira integrada, capaz de transformar os rolos de *kraft* em chapas de papelão num processo contínuo, sem interrupções ou necessidade de manuseamento manual. Tal automação é crucial, pois o manuseamento manual implica perda de tempo e pode resultar na produção de chapas de papelão de forma inconsistente, com um maior índice de defeitos. É imperativo que a onduladeira seja suficientemente dimensionada e projectada (ou escolhida) para complementar o restante da linha de produção de caixas, visando assegurar um elevado coeficiente de utilização. Embora uma das características da produção em linha seja, por vezes, um coeficiente de utilização mais baixo para certas máquinas individuais, a integração da onduladeira deve mitigar este factor. Assim, a onduladeira desempenhará funções como aquecer, colar, formar a flauta, formar a chapa e cortar as chapas em dimensões previamente definidas, integrando as funções da máquina de colar, da guilhotina e da máquina de prensar folhas.

*Tabela 7: Características técnicas da Onduladora. Fonte Alibaba, s.d.*

Modelo	WJ260-2000-I
Velocidade de processamento	160-200 m/min
Largura máxima do cartão	2.000 mm
Dimensões (CxLxH)	60.000 x 5.000 x 3.000 mm
Tensão Eléctrica	380V
Aquecimento a Vapor	1.500-1.800 kg/hora
Flautas	A, B, C, E

### 3.4.2 Características Técnicas da Impressora Digital

A opção por uma impressora digital, em detrimento da flexográfica ou offset, justifica-se pela sua elevada flexibilidade e capacidade de personalização. Este tipo de equipamento

permite imprimir directamente sobre o papelão, eliminando a necessidade de chapas ou clichés, o que reduz consideravelmente o tempo de preparação e os custos fixos em tiragens curtas e médias. Esta característica é particularmente vantajosa num mercado como o moçambicano, onde existe uma elevada diversidade de clientes, incluindo micro e pequenas empresas com necessidades específicas e volumes variáveis.

A impressora deve ser instalada num lugar limpo e livre de poeira, com temperatura controlada. Adicionalmente, deve possuir capacidade de escoar as chapas de papelão de forma eficiente, de modo a não representar um gargalo na linha de produção.

*Tabela 8:Características técnicas da impressora digital Fonte: Alibaba, s.d.*

Modelo	RS 2500-E36S
Capacidade de Impressão	50 -120 m/minuto
Dimensões (CxLxH)	5.020 x 3.160 x 1.840 mm
Espessura máxima da chapa	3-40 mm
Tinta a base aquosa	Azul, amarelo, vermelho e preto
Largura máxima de impressão	2.500 mm

### 3.4.3 Características Técnicas da Máquina de Corte e Vinco Plano

A máquina de corte e vinco será utilizada para a produção de caixas com recortes complexos. Essencialmente ela deve ter alta velocidade de corte e baixo tempo de configuração de modo a processar rapidamente várias encomendas distintas.

*Tabela 9:Características técnicas da máquina de corte e vinco. Fonte: Alibaba, s.d.*

Modelo	MHC – 1900B
Largura máximo do papelão	1.900 x 1.400 mm
Espessura máxima da chapa	8.5 mm
Velocidade	3.500 unidades/hora
Dimensões (CxLxH)	8.100 x 5.872 x 2.525 mm

### 3.4.4 Características Técnicas da Ranhuradora Excêntrica

Esta unidade se dedicará primariamente à produção de caixas de aba normal.

Tabela 10: Características técnicas da ranhuradora excêntrica. Fonte: Alibaba, s.d.

Modelo	RS4-1224
Velocidade	220 unidades/minutos
Tamanho máximo da chapa	2.400 x 1.200 mm
Máxima espessura de corte	10 mm
Tamanho mínimo de chapa	350 x 720 mm
Dimensões (CxLxH)	2.080 x 2.050 x 1.900 mm

### 3.4.5 Características Técnicas da Máquina de Cintar com Paletizador

Uma máquina de cintar com paletizador é uma solução integrada que automatiza duas etapas cruciais no final da linha de produção de caixas de papelão. Esta integração visa otimizar a eficiência, a segurança e a estabilidade das cargas para armazenamento e transporte.

Tabela 11: Características técnicas da máquina de cintar com paletizador. Fonte: Alibaba, s.d.

Modelo	YS-305RP
Dimensões (CxLxH)	1.520 x 680 x 2.100 mm
Tensão eléctrica	220V, monofásica
Velocidade	Até 30 cintagens de 12 unidades/minuto
Modelo	YS-LX500
Tensão eléctrica	380V
Dimensões (CxLxH)	2.100 x 1.950 x 1.500 mm

### 3.4.6 Características Técnicas da Máquina de Colar e Agrafar

A integração de funções numa única unidade para colar e/ou agrafar a junta do fabricante confere uma vantagem significativa, uma vez que permite a combinação de processos e a consequente economia de espaço.

Tabela 12: Características técnicas da máquina de colar e agrafar. Fonte: Alibaba, s.d.

Modelo	HUAYU-YF2850
Tamanho máximo da chapa	1.200 x 2.400 mm
Dimensões (CxLxH)	16.500 x 3.600 x 1.700 mm
Tensão	380V
Velocidade	150 m/min

### 3.4.7 Equipamento auxiliar

Para garantir o pleno funcionamento da linha de produção e a eficiência energética da unidade fabril, será necessária a implementação de equipamentos auxiliares essenciais. Entre eles, destaca-se a caldeira, com capacidade para gerar duas toneladas de vapor por hora, fundamental para o aquecimento dos rolos da onduladora, assegurando uma boa formação das flautas das flautas e a aderência adequada dos revestimentos.

*Tabela 13: Características técnicas da caldeira. Fonte: Alibaba, s.d.*

Modelo	WNS2-1.0-Q
Capacidade	2 ton/hora
Dimensões (CxLxH)	4.000 x 1.700 x 1.950 mm
Temperatura	184° C
Consumo de combustível (gás)	162 m <sup>3</sup> /hora

Um compressor de ar comprimido será utilizado para alimentar os sistemas pneumáticos de diversos equipamentos, como empurradores, braços de alimentação e pistões das coladeiras.

*Tabela 14: Características técnicas do compressor de ar. Fonte: Guangzhou Leadcom Compressor CO., LTD., s.d.*

Modelo	CPM
Dimensões (CxLxH)	1.500 x 1.030 x 1400 mm
Capacidade	5 m <sup>3</sup> /min
Potencia	30 kW
Peso	680 kg

Para mitigar falhas de fornecimento energético, especialmente em zonas industriais com limitações de rede, será instalado um gerador de energia eléctrica, dimensionado para suprir toda a carga crítica da fábrica em caso de corte de energia.

*Tabela 15: Características técnicas do gerador a diesel. Fonte: GenKing, s.d.*

Modelo	Volvo Penta (GKV-500)
Dimensões (CxLxH)	4.200 x 1.990 x 2.780 mm
Combustível	Diesel
Peso	5000 kg
Potencia	450 kVA (cos $\phi$ = 0.80)

Complementarmente, para a movimentação interna de matérias-primas e produtos acabados, serão utilizados empilhadeiras e porta-paletes, permitindo maior agilidade logística, segurança operacional e redução do esforço físico dos operadores. Estes equipamentos são particularmente relevantes nas áreas de armazenamento, zona de carga e descarga e entre as secções húmida e seca da produção.

A inclusão e o bom dimensionamento destes sistemas auxiliares são cruciais para garantir a continuidade da produção, a estabilidade das condições operacionais e a optimização do consumo energético, reflectindo-se directamente na produtividade.

### **3.5 Análise da Capacidade de Produção**

Após a escolha do equipamento de produção, é imperativo calcular a capacidade de produção da unidade fabril. Esta análise permite identificar potenciais gargalos, que são os pontos do processo com menor capacidade e que, conseqüentemente, limitam a produção total. Os dados sobre a capacidade de produção de cada equipamento não servem apenas para estimar a produção da fábrica. Representam um ponto de partida fundamental para calcular a viabilidade económica de toda a unidade industrial, pois com estes dados é possível projectar com maior precisão os volumes de venda potenciais e, conseqüentemente, as receitas.

Para proceder com o cálculo, devem ser assumidos alguns parâmetros:

- um turno de 8 horas por dia;
- eficiência de cada máquina a 80% para reflectir eventuais paragens;
- porque existem diversidade de caixas a serem produzidas, assume-se uma média de 2m<sup>2</sup> por caixa;

A onduladora integrada, com uma velocidade mínima de 160 metros por minuto e uma largura útil de 2 metros, atinge uma produção de 320 metros quadrados por minuto. Considerando uma produção efectiva de 384 minutos por turno (resultado de 480 minutos multiplicados por uma eficiência de 80%), a produção diária alcançará 122.880 metros quadrados, o que equivale a aproximadamente 61.440 caixas por dia.

A impressora digital, com uma velocidade de impressão de 120 metros por minuto e uma largura de impressão de 1,2 metros, atinge uma produção de 144 metros quadrados por minuto. Considerando uma produção efectiva de 55.296 metros quadrados por turno e assumindo que a área de impressão por caixa seja de 1 metros quadrado, a produção diária da impressora é de 55.296 caixas.

A máquina de corte e vinco, com uma velocidade de 220 unidades por minuto, possui uma capacidade teórica de 13.200 unidades por hora. Aplicando uma eficiência prática de 80%, a produção diária chega a 84.480 unidades.

A ranhuradora excêntrica tem uma velocidade teórica de 3500 unidades por hora. Aplicando a eficiência prática de 80% a sua capacidade real atinge 22.400 unidades por dia.

A máquina de colar e agrafar, com velocidade de 150 metros por minuto e considerando a largura útil máxima da máquina de 2,4 metros, possui uma capacidade teórica de processar 360 metros quadrados por minuto, que equivale a 180 caixas. Isso resulta em uma capacidade teórica de 10.800 caixas por hora. Aplicando uma eficiência prática de 80%, a capacidade real de produção deste equipamento alcança 69.120 caixas por dia.

A máquina de cintar com paletizador operando a 30 ciclos de 12 caixas por minuto, atinge uma capacidade teórica de 360 caixas por minuto, o que equivale a 21.600 caixas por hora. Aplicando uma eficiência prática de 80%, a capacidade real de cintagem alcança 138.240 caixas por dia.

*Tabela 16:Resumo da produção diária por equipamento*

Equipamento	Produção diária a 80% de eficiência (caixas)
Onduladora integrada	61.440
Impressora digital	55.296
Máquina de corte e vinco	84.480
Ranhuradora excêntrica	22.400
Máquina de colar/agrafar	69.120
Máquina de cintar com paletizador	138.240

À primeira vista, a ranhuradora parece constituir o gargalo da linha de produção, uma vez que possui um desempenho inferior comparada com outros equipamentos. No entanto, importa considerar que a máquina de corte e vinco tem capacidade para produzir caixas de aba normal, além de caixas com cortes mais elaborados.

Dado que a ranhuradora e a máquina de corte e vinco podem operar em paralelo, é possível distribuir a produção entre ambas, minimizando a sua limitação individual. Nessas condições, o verdadeiro gargalo da linha passa a ser a impressora, cuja capacidade de produção condiciona o fluxo global da fábrica, especialmente quando há elevada exigência de impressão personalizada.

### 3.6 Cálculo das Superfícies para as Máquinas

De acordo com P.F. Guerchet, s.d., citado por Charifo, s.d., existe um método simplificado de cálculo da superfície de implantação, dado pela fórmula:

$$S_T = S_S \times (1+N) \times (1+K) \quad (2)$$

onde:  $S_T$  é a superfície total,  $S_S$  é Superfície estática da máquina,  $N$  é o número de lados em relação as quais a máquina é servida e  $K$  é o coeficiente de ajuste que pode variar entre 0,05 para indústrias pesadas com pontes e 3 para indústria mecânica. Este coeficiente  $K$  pode ser determinado pela seguinte fórmula:

$$K = \frac{C_{\text{máx}}(\text{objecto máximo a movimentar})}{2C_{\text{méd}}(\text{máquinas ou bancadas})} \quad (3)$$

$$K = \frac{6000}{2 \left( \frac{60000 + 5020 + 8100 + 1520 + 2100 + 16500}{6} \right)} = 0,2$$

Tabela 17: Cálculo das superfícies das máquinas e bancadas

Máquina	$S_S$ (m <sup>2</sup> )	Qtd	N	K	$S_T$ (m <sup>2</sup> )
Onduladora	300	1	1	0,2	720
Impressora	15,86	1	2		70
Ranhuradora excêntrica	4,26	1	2		19
Máquina de corte e vinco	47,56	1	2		210
Máquina de colar/agrafar	59,4	1	2		262
Máquina de cintar	1	1	2		5
Paletizador	4,1	1	2		18
Total					1.514

Para determinar a superfície total da secção de produção, é necessário adicionar, ao total resultante da soma das superfícies parciais necessárias às unidades de produção, a superfície destinada à circulação entre as diferentes unidades, ao trânsito de pessoal e às movimentações internas. Para fábricas de um único piso, adiciona-se 15% à área útil calculada para acomodar as necessidades de transporte interno, totalizando assim aproximadamente a 1.742 m<sup>2</sup>. Em literatura clássica sobre planeamento fabril, o comprimento e a largura de calculam-se da seguinte forma:

$$L = \sqrt{\frac{2}{3} \cdot \text{Área total}} = 34,08 \text{ m}; \quad (4)$$

$$C = \frac{3}{2}L = 51,12 \text{ m}; \quad (5)$$

Entretanto, este método não é viável, pois a onduladora integrada possui um comprimento de 60 metros, valor superior ao calculado. Por essa razão deve se optar por uma abordagem de layout onde a dimensão da onduladora actua como um factor limitante, servindo de base para o planeamento e a organização dos restantes equipamentos. A disposição do espaço será, portanto, adaptada em função deste equipamento principal para garantir a funcionalidade e o fluxo contínuo.

É fundamental ter em conta a área designada a outros recintos, como escritórios, posto medico, gabinetes, refeitórios, balneários, salas de reunião e zonas de arquivo. Estas áreas, embora não directamente ligadas à produção são essenciais para o bem-estar dos colaboradores, para a gestão administrativa e para o suporte às operações fabris. Negligenciar estas superfícies pode comprometer a eficiência geral, a conformidade com as normas de segurança e saúde no trabalho, e a produtividade a longo prazo. Um planeamento cuidadoso de todos estes espaços contribui para um ambiente de trabalho funcional e ergonómico, impactando positivamente o clima organizacional e a retenção de talentos.

*Tabela 18:Outros recintos*

Outros Recintos	Área (m <sup>2</sup> )
Casa de máquinas (gerador, compressor, bombas de água, etc.)	30 – 40
Balneários e WC	30 – 40
Bloco administrativo (gestão, recursos humanos, etc.)	80 – 100
Gabinetes	40 – 60
Posto médico	20 – 30
Refeitório	60 – 80
Sala de controle de qualidade	20 – 40
Sala de projectos	20 – 40
Sala de servidor	10 – 20
Ferramentaria	20 – 30
Total estimado	330 - 480

### 3.7 Layout

O *layout* (arranjo físico) é crucial para assegurar a fluidez do processo produtivo, abrangendo desde a recepção da matéria-prima até a expedição do produto acabado. Um *layout* bem concebido tem o potencial de melhorar significativamente a produtividade e de reduzir os custos operacionais.

Não obstante a diversidade de tipos de formatos de caixas produzidas, o produto final será invariavelmente uma caixa. Por esta razão, a implantação do layout será do tipo produto, onde os equipamentos são dispostos sequencialmente de acordo com as etapas do processo de fabrico da caixa, otimizando o fluxo dos materiais.

O fluxo de materiais obedece a seguinte ordem:

1. Armazém de matéria-prima → 2. Onduladora Integrada → 3. Impressora Digital → 4.a. Ranhuradora Excêntrica → 4.b. Máquina de Corte e Vinco → 5. Máquina de colar/agrafar) → 6. Máquina de cintar com paletizador → 7. Armazenagem/Expedição.

Com base nesta sequência de operações, e nas dimensões da superfície de implantação dos equipamentos (obtidas da tabela 17), uma das propostas do arranjo seria:

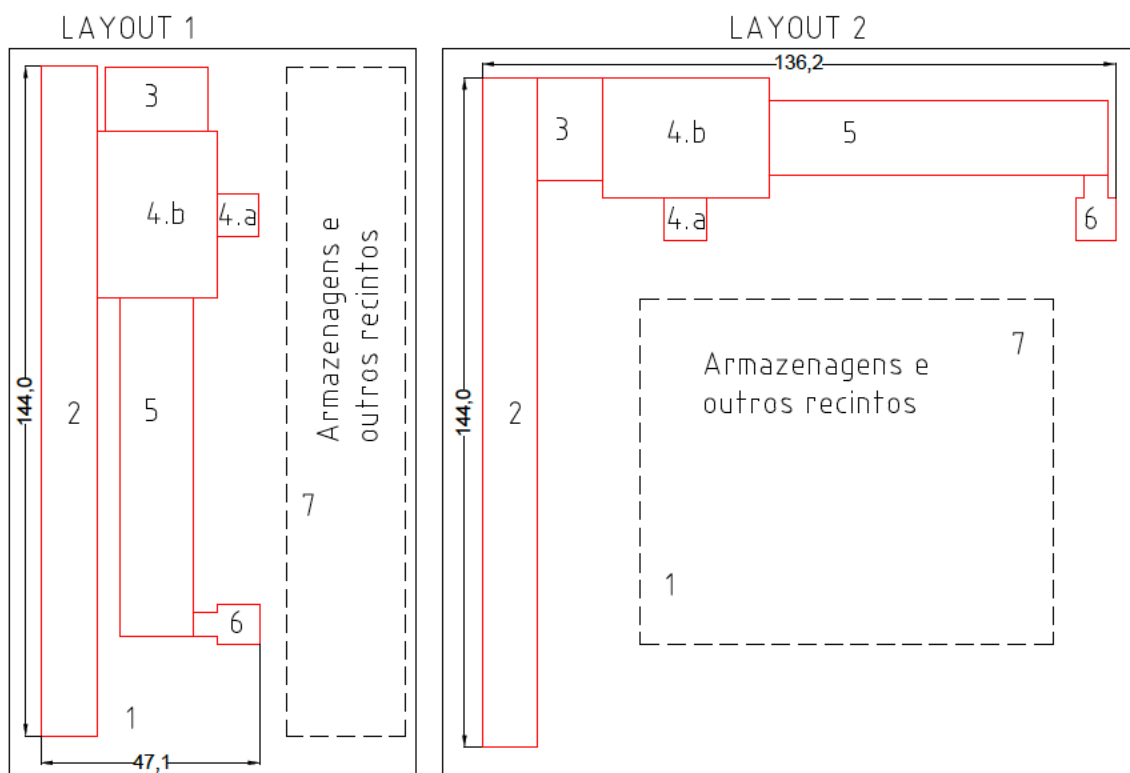


Figura 24: Arranjo da pré-planta (dimensões em metros). Autor

O layout 1 oferece a vantagem de ser mais compacto, o que resulta numa economia da área de construção e numa optimização do espaço do piso. Em contrapartida, poderá

exigir uma tubagem mais extensa para a instalação do compressor de ar. Contudo, numa análise económica comparativa, o custo adicional da instalação do compressor torna-se negligenciável face aos benefícios do espaço optimizado.

### **3.8 Instalações**

De acordo com Charifo (2013), o planeamento de instalações industriais deve considerar diversos aspectos fundamentais para garantir a eficiência e segurança das operações. No que se refere aos acessos, é essencial prever a existência de uma portaria, um posto de controle de pessoas, estacionamento para viaturas e vias de circulação devidamente dimensionadas para o tráfego de trabalhadores e veículos de carga.

No que toca ao movimento e transporte, o autor salienta a importância de avaliar factores relacionados aos materiais a transportar, (tais como peso, volume, frequência e fragilidade), às características das edificações (como distâncias, disposição dos sectores e altura dos pés-direitos), bem como aos custos envolvidos na movimentação desses materiais, de forma a optimizar o fluxo interno e minimizar desperdícios.

Relativamente ao abastecimento de água, devem ser analisadas as fontes de fornecimento disponíveis, a capacidade dos reservatórios necessários para assegurar o abastecimento contínuo da unidade fabril e a eficiência do sistema de distribuição, garantindo pressão e disponibilidade adequadas em todos os pontos de consumo.

### **3.9 Armazenagem**

O inventario da matéria-prima deve ser dimensionado de forma estratégica para garantir a continuidade da produção, mesmo perante variações na procura ou eventuais atrasos no fornecimento. A gestão eficiente do armazenamento constitui um factor determinante na definição do *layout*, influenciando tanto a organização física dos espaços como a selecção dos meios de movimentação interna.

Neste contexto a fabrica prevê a existência de dois armazéns principais:

- Armazém da matéria-prima: este armazém deve garantir condições adequadas de controlo de humidade e temperatura, especialmente para o papel *kraft*, que é sensível à absorção de água e pode comprometer a qualidade das caixas. Como não é economicamente viável climatizar todo o armazém, recomenda-se a criação de compartimentos específicos para o armazenamento dos rolos de papel kraft.
- Armazém de produto acabado: dedicado à armazenagem de caixas prontas para expedição, devendo ser acessível para operações de carga e descarga. A

organização do espaço deve permitir uma rotação eficiente, preferencialmente através do sistema FIFO (*First In, First Out*). para tal, é crucial dispor de corredores amplos que facilitem a circulação.

Poderá ainda ser necessário prever áreas para a armazenagem temporária de materiais em espera de tratamento em certos postos de trabalho.

Para o dimensionamento da área de armazenagem do produto acabado, parte-se do princípio de que as paletes serão padronizadas em toda a unidade fabril, com dimensões de 1.200 x 1.000 mm. Assumindo que cada palete comporta o mínimo de 250 caixas e considerando a produção diária de 25.000 unidades, são necessários 120 metros quadrados. Contudo, para garantir flexibilidade operacional e acomodar picos de produção e eventuais atrasos na expedição, considera-se a necessidade de armazenar até três dias de produção. Assim, o armazém de produto acabado devesa dispor de pelo menos 360 metros quadrados, sem contar com os corredores de circulação.

### 3.9.1 Armazenagem de Produtos Perigosos e Inflamáveis

Alguns insumos utilizados no processo produtivo – como tintas, solventes ou colas à base de componentes inflamáveis – exigem condições específicas de armazenagem, mesmo que sejam utilizados em pequenas quantidades.

A armazenagem destes produtos deve ocorrer em compartimentos especiais, construídos com materiais resistentes ao fogo e dotados de:

- Pavimento impermeável, inclinado e com escoamento para uma bacia colectora, não ligada a rede de esgotos (caixas de retenção);
- Contentores dispostos sobre plataformas elevadas, evitando o contacto directo com o solo;
- Ventilação natural ou forçada, e sinalização de segurança visível e permanente.

### 3.10 Esquema de Circulação

O esquema de circulação fornece uma visão geral dos fluxos de movimento no interior da fábrica. As vias de circulação e de transporte devem manter-se permanentemente desobstruídas. Sempre que possível, devem ser rectilíneas, com cruzamentos perpendiculares. As faixas de circulação, devem estar devidamente marcadas com uma linha continua de, pelo menos, 50 mm de largura.

Os percursos destinados ao transporte de materiais e à circulação de pessoas devem ser separados. Para a maioria das vias de circulação de empilhadores, a largura máxima

do objecto a transportar corresponde à largura da paleta, previamente definida em 1200 mm. A este valor, adiciona-se um coeficiente de correcção de 600 mm, perfazendo um total de 1.800 mm. No entanto, para o transporte das chapas de papelão desde a onduladora até à impressora, será necessária uma largura superior, dado que as chapas saem da onduladora ainda planas e irão posteriormente ser tratadas. Assim, para garantir uma margem de manobra adequada, considera-se o valor normalizado imediatamente superior, de 2.400 mm.

Para a circulação de pessoas, em corredores com possibilidade de encontros, adopta-se a largura de 1.000 mm.

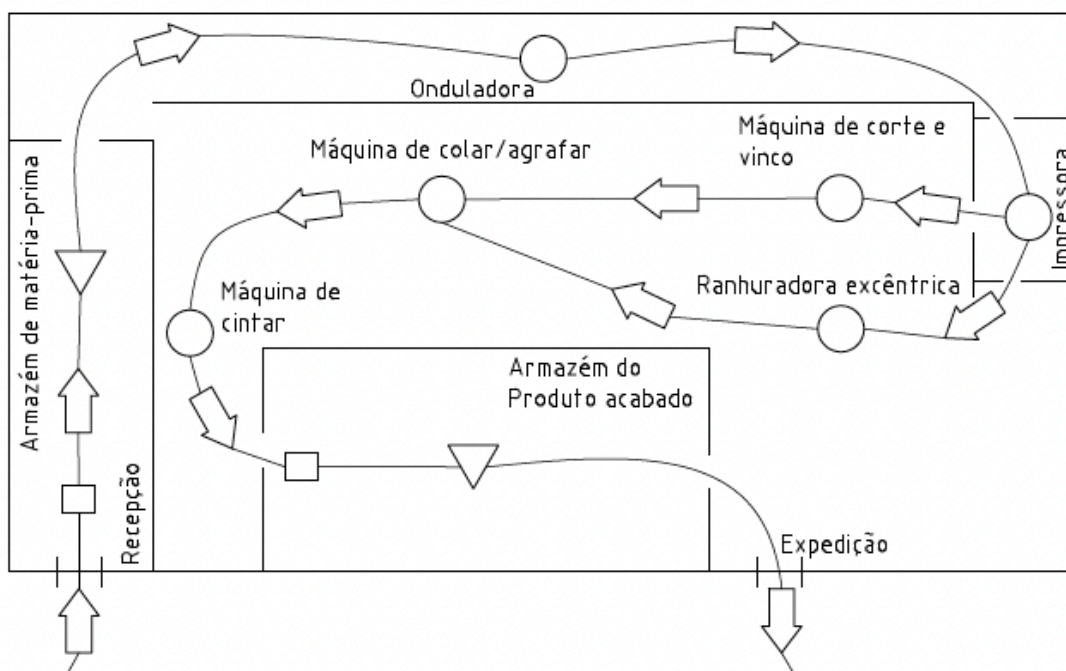


Figura 25: Esquema de circulação. Autor

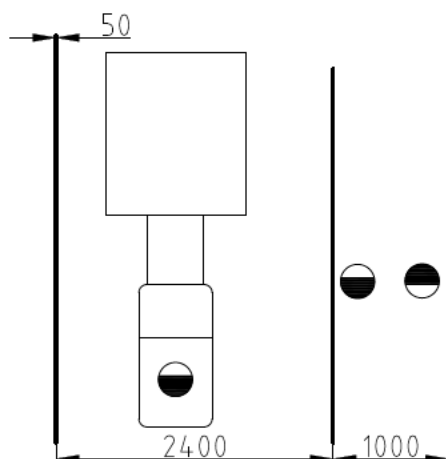


Figura 26: Largura da área de transporte e movimento de pessoas. Autor

### 3.11 Segurança Contra Incêndios

É fundamental considerar o planeamento para a segurança contra incêndios, dado o carácter combustível do papelão. Sistemas de detecção e alarme, extintores estrategicamente posicionados, hidrantes, planos de evacuação e formação de brigadas internas devem ser complementados por uma análise rigorosa de riscos e pela escolha adequada dos meios de combate, que, em determinadas zonas da unidade, podem ser de tipo não aquoso (como extintores de CO<sub>2</sub> ou pó químico), para evitar danos à matéria-prima e produtos acabados sensíveis à água.

O uso da água, apesar método para combater incêndios, é problemático na indústria de papelão, pois pode resultar na perda total da matéria-prima e na danificação de chapas e caixas acabadas. Por isso o combate ao incêndio não deve ser apenas uma reacção ao problema, mas sim a sua prevenção eficaz. Um sistema integrado de segurança, aliado a uma cultura organizacional focada em prevenção, é essencial para a protecção não só dos equipamentos, mas também dos próprios trabalhadores.

### 3.12 Equipamento de Protecção Individual

O uso de Equipamentos de Protecção Individual (EPIs) constitui uma das principais medidas de prevenção de acidentes e doenças ocupacionais numa unidade fabril. No contexto específico da indústria de papelão ondulado, os riscos a que os trabalhadores estão expostos incluem cortes, esmagamentos, inalação de poeiras de papel, ruído excessivo, contacto com agentes químicos (colas, tintas), bem como riscos térmicos e eléctricos.

Para garantir a eficácia dos EPIs, devem ser implementadas sistemas de controle como:

- a verificação periódica do estado de conservação;
- formação anual obrigatória;
- armazenamento adequado dos EPIs;
- e inventários dos equipamentos.

Paralelamente, impõe-se a promoção de uma cultura de segurança orientada a prevenção de acidentes.

*Tabela 19: EPIs necessários para cada sector*

Área da Fábrica	Riscos Principais	EPIs Recomendados
<b>Seção de Produção de Papelão</b>	Calor, rolos aquecidos, peças móveis	Luvas térmicas, óculos de protecção, botas, protecção auditiva

<b>Seção de Conversão (impressão, corte, vinco)</b>	Cortes, impacto, ruído, pó de cartão	Luvas, protecção auditiva, avental, botas, mascaras
<b>Armazém e expedição</b>	Quedas de carga, atropelamento	Colete reflector, capacete, botas, luvas
<b>Manuseio de químicos (colas/tintas)</b>	Contactos com substâncias irritantes ou inflamáveis	Luvas nitrílicas, óculos com protecção lateral, máscara com filtro, avental impermeável
<b>Caldeira e compressor de ar</b>	Ruído elevado, calor, risco de explosão	Protector auricular tipo concha, vestuário antichama, botas dieléctricas, luvas resistentes ao calor
<b>Manutenção e limpeza</b>	Superfícies cortantes ou energizadas	Luvas dieléctricas, ferramentas isoladas, óculos de protecção, capacete

### 3.13 Avaliação Económica

A realização de uma avaliação económica prévia é crucial para o dimensionamento eficiente de uma unidade fabril destinada à produção de caixas. Este processo permite determinar a viabilidade do projecto e otimizar a escala da produção, evitando tanto a subutilização quanto a sobrecarga de recursos. Para tal, métricas financeiras como o Ponto de Equilíbrio (*Break-even Point*) e o Prazo de Recuperação do Investimento (*Payback Period*) são indispensáveis. Conforme (Blank & Tarquin, 2012), o Ponto de Equilíbrio revela o volume mínimo de produção necessário para cobrir todos os custos, enquanto o Prazo de Recuperação do Investimento indica o tempo que o investimento inicial levará para ser recuperado através dos lucros gerados. A análise conjunta destas métricas oferece uma visão clara da sustentabilidade e rentabilidade esperada, fundamentando decisões estratégicas para o sucesso da fábrica.

Tabela 20: Estimativa de investimento inicial

Equipamento	Estimativa em USD
Onduladora Integrada	400.000 - 600.000
Impressora Digital	50.000 - 60.000

Máquina de Corte e Vinco Plano	100.000 - 120.000
Ranhuradora Excêntrica	30.000 - 40.000
Máquina de Colar/Agrafar	30.000 - 50.000
Máquina de Cintar com paletizador	25.000 - 30.000
Equipamento auxiliar (gerador, caldeira, compressor, etc.)	200.000 - 250.000
Infra-estruturas	500.000 - 650.000
Matéria-prima	150.000 - 200.000
Outros	100.000 - 150.000
Total estimado	1.585.000 - 2.150.000

Tabela 21: Estimativa de custos mensais (fixos)

Custos fixos mensais	Estimativas em USD
Salários	15.000 - 20.000
Segurança	1.000 - 2.000
Softwares	1.000 - 2.000
Manutenção e Limpeza	1.000 - 2.000
Outros	2.000 - 4000
Total estimado	20.000 - 30.000

Os custos variáveis são aqueles que aumentam ou diminuem com o volume de caixas produzidas, por exemplo: energia eléctrica, água, papel *kraft*, toner, agrafos, adesivos, cintas, transportes, desperdícios, etc.

Para proceder à análise da rentabilidade da unidade fabril, consideram-se os seguintes pressupostos económicos:

- Investimento inicial: 3.000.000 USD (valor inflacionado de modo a acomodar os custos de transporte e taxas aduaneiras).
- Custos fixos mensais iniciais: 25.000 USD (300.000 USD anuais).
- Custo variável por metro quadrado: 0,39 USD (valor extrapolado a partir do custo da matéria-prima por tonelada, dividido pela gramagem utilizada em caixas de parede simples, com acréscimo para cobrir outros custos variáveis operacionais).
- Lucro bruto por metro quadrado: 0,11 USD.
- Volume diário de vendas 50.000 m<sup>2</sup> (exemplo de 25.000 caixas de 2m<sup>2</sup>).
- Dias úteis por ano: 235.

- Aumento do volume de vendas: 5% ao ano.
- Aumento dos custos: 2% ao ano.

Tabela 22: Projecção do ponto de equilíbrio por 5 anos

Ano	Custos Fixos Anuais (USD)	Lucro Bruto/ m <sup>2</sup> (USD)	Ponto de Equilíbrio (m <sup>2</sup> )	Custos Variáveis/m <sup>2</sup> (USD)	Preço de Venda (USD)	Ponto de Equilíbrio (USD)
1	300.000	0,11	2.727.272,73	0,39	0,50	1.363.636,36
2	306.000	0,11	2.781.818,18	0,398	0,508	1.412.607,27
3	312.120	0,11	2.837.454,55	0,406	0,516	1.463.434,21
4	318.362,40	0,11	2.894.203,64	0,414	0,524	1.516.189,70
5	324.729,65	0,11	2.952.087,71	0,422	0,532	1.570.949,17

Tabela 23: Projecção do retorno do investimento

Ano	Vendas (m <sup>2</sup> )	Fluxo de Caixa (USD)	Fluxo de Caixa acumulado (USD)
0	0	-3.000.000	-3.000.000
1	11.750.000	992.500	-2.007.500
2	12.337.500	1.051.125	-956.375
3	12.954.375	1.112.861,25	156.468,25
4	13.602.093,75	1.177.867,91	1.334.354,16
5	14.282.198,44	1.246.312,18	2.580.666,34

A taxa interna de retorno (TIR) é de aproximadamente 23,86% (calculado via Excel pelo comando 'IRR'), com o período de retorno do investimento (ou *payback*), sem considerar a inflação, a ocorrer entre o segundo e terceiro ano. Estes indicadores apontam, à primeira vista, para um investimento atractivo. No entanto, para uma avaliação mais rigorosa, é essencial considerar o valor real do investimento, incluindo os seguintes factores:

- Os custos de importação do equipamento,
- A taxa de juro associada ao capital investido,
- A taxa de reinvestimento dos fluxos de caixa gerados.

A consideração destes elementos permite calcular a Taxa Interna de Retorno Modificada (MIRR – *Modified Internal Rate of Return*), que favorece uma visão mais realista da

rentabilidade do projecto, especialmente em contextos onde as condições de financiamento e reinvestimento diferem da TIR tradicional.

## Capítulo 4. APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

### 1. Mercado e Estratégia Produtiva

A unidade será implantada na Zona Franca do Parque Industrial de Beluluane (Matola), devido à sua proximidade com fornecedores, mercado consumidor, disponibilidade de mão-de-obra e infra-estrutura logística. Maputo e Matola concentram cerca de 25% do PIB nacional, reforçando a viabilidade da escolha. Os mercados-alvo desta unidade fabril são as indústrias manufactureiras e o comércio informal. As caixas devem seguir dimensões padronizadas compatíveis com paletes para facilitar transporte e armazenagem.

### 2. Processo Produtivo e Equipamentos

A linha de produção divide-se em duas secções:

- Fabrico de papelão: com uma onduladora integrada;
- Conversão: impressora digital, ranhuradora excêntrica, máquina de corte e vinco, coladeira/agrafadora e máquina de cintar.

Esta configuração permite atender diferentes formatos de caixas com elevada produtividade e baixa dependência de mão-de-obra especializada.

### 3. Capacidade Produtiva

Considerando um turno de 8h/dia e 80% de eficiência, a capacidade estimada dos principais equipamentos é:

Onduladora: 61.440 caixas/dia

Impressora digital: 55.296 caixas /dia

Corte e vinco: 84.480 caixas /dia

Ranhuradora: 22.400 caixas /dia

Colagem/agrafagem: 69.120 caixas /dia

Cintagem: 138.240 caixas /dia

O gargalo identificado é a impressora digital, o que reforça a importância de avaliar expansões futuras.

### 4. Layout e Infra-estrutura

O layout adaptado é tipo produto, com a disposição sequencial dos equipamentos, o que garante um fluxo contínuo de materiais desde a recepção da matéria-prima até a expedição do produto acabado. A área total da produção foi estimada em 1.742 m<sup>2</sup>, somando-

se 330 a 480 m<sup>2</sup> para recintos complementares como escritórios, refeitório e áreas técnicas. A planta foi desenhada para otimizar o fluxo de materiais, separação de tráfego de pessoas e empilhadores e garantir a segurança operacional.

#### 5. Instalações e Armazenagem

Foram definidos dois armazéns principais (matéria-prima e produto acabado) com áreas climatizadas específicas para papel *kraft* e espaço suficiente para armazenar até 5 dias de produção. Foram ainda previstas áreas para produtos inflamáveis, conforme normas de segurança.

#### 6. Segurança e EPIs

O plano inclui sistemas de prevenção e combate a incêndios adequados às características do papelão, separação de zonas de risco e uma política de uso rigoroso de Equipamentos de Protecção Individual (EPIs) conforme os riscos identificados por área.

#### 7. Avaliação Económica

A análise económico-financeiro foi baseada num investimento inicial estimado de 3.000.000 USD (aproximadamente 193.569.000,00 MZN à data de Julho de 2025), valor deliberadamente inflacionado de modo a incorporar os custos com transporte internacional, taxas alfandegarias e outros encargos de importação não considerados nas estimativas unitárias dos equipamentos e materiais. Esta abordagem garante uma margem de segurança realista para a viabilidade do projecto num contexto de importações.

Com vendas estimadas em 50.000 m<sup>2</sup>/dia (cerca de 25.000 caixas de 2 m<sup>2</sup>), o ponto de equilíbrio (*break-even point*) é atingido no terceiro ano de operação, com os seguintes indicadores:

*Payback* estimado entre o segundo e terceiro ano;

Taxa interna de Retorno (TIR) de 23,86%;

Taxa Interna de Retorno Modificada (MIRR) a considerar para maior rigor, reflectindo melhor os custos reais do capital e reinvestimento, especialmente em função da origem importada dos principais activos.

## **Capítulo 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

### **5.1 Conclusões**

Após a elaboração do presente trabalho, e em cumprimento, tanto quanto possível, das normas pré-estabelecidas, procede-se à avaliação do grau de concretização dos objectivos específicos delineados. Assim, conclui-se que:

- A avaliação das características técnicas da matéria-prima utilizada no fabrico do papelão permite concluir que os parâmetros como a gramagem, a resistência ao estouro, o calibre e o tipo de flauta evidenciam a influência directa desses factores na qualidade e no desempenho estrutural das caixas. Essa análise demonstrou a importância da selecção adequada das matérias-primas para garantir a resistência mecânica e a sustentabilidade do produto final.
- A descrição técnica de cada equipamento, abrangendo desde a onduladora até às máquinas de corte, vinco, impressão, colagem e cintagem, permitiu compreender o papel de cada etapa na cadeia de produção, bem como os requisitos de espaço físico, energia e manutenção. Essa abordagem possibilitou delinear um sistema produtivo eficiente, com potencial de automação gradual e adaptável à escala de produção pretendida.
- Foi efectuada uma avaliação económica preliminar do projecto, considerando os investimentos iniciais, custos fixos e variáveis, bem como o potencial de produção e rentabilidade da unidade. Esta análise permitiu obter uma visão realista sobre a viabilidade financeira da iniciativa, apoiando a tomada de decisão quanto à sua implementação.

Em face dos resultados obtidos no Capítulo 4, concluiu-se que o objectivo geral de elaborar o projecto de engenharia para a unidade fabril foi atingido. O trabalho resultou, assim, na definição de um projecto tecnicamente e financeiramente viável para a implantação da fábrica de caixas de papelão em Moçambique.

### **5.2 Recomendações**

Dado o exposto e considerando a concretização dos objectivos definidos, pode-se afirmar que o presente trabalho constitui uma base sólida para a implementação de uma unidade fabril de caixas de papelão em Moçambique.

Nesse âmbito, recomenda-se a quem for implementar o projecto, que realize antecipadamente um estudo de viabilidade económica que inclua uma análise concorrencial e o projecto arquitectónico detalhado.

## Capítulo 6. BIBLIOGRAFIA E REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Twede, D. (2005). *The future of marketing's past: The origin of paper based packaging*. Michigan State University, USA

Aloumi, B., Alnashwan, W., Malasri, S., Othmani, A., Kist, M., Sampson, N., Polania, S., Sanchez-Luna, Y., Johnson, M., & Fotso, R. (2015). Experimental verification of McKee formula. *International Journal of Advanced Packaging Technology*, 3(1), 129–137. <https://doi.org/10.23953/cloud.ijapt.17>

Holmen Iggesund. (s.d.). *Differences between paper and paperboard*. <https://www.iggesund.com/pl/insights/paperboard-know-how/about-paperboard/differences-between-paper-and-paperboard/>

EIRI Board of Consultants & Engineers. (s.d.). *Complete manufacturing technology book on corrugated boxes, folding cartons, lined cartons, corrugating starch adhesives and glueing systems with project profiles*. Engineers India Research Institute.

kallipso. (2022, Novembro 9). *When was cardboard invented – A brief history*. Plastic Expert. <https://www.plasticexpert.co.uk/when-was-cardboard-invented/>

Boxfactory. (2024, Abril 26). *The evolution of cardboard boxes*. <https://www.boxfactory.com.au/news/the-evolution-of-cardboard-boxes/>

Packaging Warehouse. (s.d.). *Corrugated cardboard: History, manufacture, structure and types of corrugation*. <https://www.packaging-warehouse.com/en/magazine/corrugated-cardboard-history-manufacture-structure-and-types-of-corrugation-130.php>

FEFCO. (s.d.). *The production of modern corrugated packaging*. <https://www.fefco.org/technical-information/production-process>

Packaging Corporation of America. (s.d.). *How corrugated boxes are made*. <https://www.packagingcorp.com/resource-hub/beyond-the-box/how-corrugated-boxes-are-made/>

ECSA BOX. (s.d.). *The history of corrugated* [Arquivo PDF]. [https://ecsabox.com/pdf/history\\_of\\_corrugated.pdf](https://ecsabox.com/pdf/history_of_corrugated.pdf)

Verbex. (2008). *Diagrama ilustrativo do processo de fabricação do papel* [Diagrama]. Wikimedia Commons. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fabr\\_papier.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fabr_papier.jpg)

byzantiumbooks. (s.d.). *Gibson corrugated box certificate* [Fotografia]. Flickr. <https://www.flickr.com/photos/byzantiumbooks/50344000717/> Licenciada sob CC BY 2.0.

ECTran71. (2022). *Diagrama do processo de impressão flexográfica* [Diagrama]. Wikimedia Commons. <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=82521369> Licenciada sob CC BY-AS 4.0.

FEFCO. (s.d.). *Processo de produção de embalagens de papelão ondulado* [Imagem]. <https://www.fefco.org/technical-information/production-process>

Horvath, L. (2020, Abril 23). Introduction to corrugated boxes. Virginia Tech

Wadpack. (s.d.). Corrugated box production process: An in-Depth overview. <https://www.wadpack.com/corrugated-box-production-process/>

Boacă, F. I., Cananau, S., Prisecaru, D. A., Stoica, M., & Cucu, L. (2021). Mechanical design of corrugated packaging box. *Journal of Research and Innovation for Sustainable Society*, 3(2), 132–139. [https://www.researchgate.net/publication/356395407\\_Mechanical\\_design\\_of\\_corrugated\\_packaging\\_box](https://www.researchgate.net/publication/356395407_Mechanical_design_of_corrugated_packaging_box)

HUAYU. (s.d.). *Slitter scorer, slitting and creasing machine - Specialist carton machinery manufacturer*. <http://hycartonmachines.com/6-3-slitter-scorer/178954/>

American Forest & Paper Association (AF&PA). (2024, Novembro 13). *Paper industry announces 2023 U.S. paper recycling rates using updated methodology*. <https://www.afandpa.org/news/2024/paper-industry-announces-2023-us-paper-recycling-rates-using-updated-methodology>

The German Insurance Association (GDV e.V.). (s.d.). *Flutes – Transport informations service*. Transport Information Service (TIS). [https://www.tis-gdv.de/tis\\_e/verpack/papier/wp\\_form/wp\\_form-htm/](https://www.tis-gdv.de/tis_e/verpack/papier/wp_form/wp_form-htm/)

Pereira, T., Neves, A. S. L., Silva, F. J. G., Godina, R., Morgado, L., & Pinto, G. F. L. (2020). Production process analysis and improvement of corrugated cardboard industry. *Procedia Manufacturing*, 51, 1395–1402. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.194>

Twede, D., & Harte, B. (2011). Logistical packaging for food marketing systems. In R. Coles & M. Kirwan (Eds.), *Food and beverage packaging technology* (2nd ed., pp. 85–105). Wiley-Blackwell.

Mason, D. (2024, Novembro 22). *How is cardboard recycled? A step-by-step explanation* GWP Group. <https://www.gwp.co.uk/guides/how-is-cardboard-recycled/#:~:text=Cardboard%20recycling%20involves%20a%206,converting%20back%20into%20corrugated%20board>.

Fernando, J. L. P. (2024). *Estudo de viabilidade económica de implantação de unidade fabril para a produção de embalagens biodegradáveis a base de micélio* [Trabalho de licenciatura]. Universidade Eduardo Mondlane. <http://monografias.uem.mz/handle/123456789/4536>

Berkel, H., & Penttinen, E. (2023, Julho). *Indústrias manufactureiras moçambicanas – sobrevivendo mas não prosperando*. IG Mozambique. <https://igmozambique.wider.unu.edu/pt/opiniao/industrias-manufactureiras-mocambicanas-sobrevivendo-mas-nao-prosperando>

Blank, L., & Tarquin, A. (2012). *Engineering economy* (7th ed.). McGraw-Hill.

Charifo, A. (s.d.). Apontamentos da disciplina “Sistemas de Produção” [Apontamentos de disciplina não publicados]. Maputo.

FEFCO. (2022). *FEFCO code: Design style library for corrugated board products* (12th ed.). <https://www.fefco.org>

HUAYU. (s.d.). *Automatic paper carton box gluing stitching machine*. Alibaba.com. [https://www.alibaba.com/product-detail/Automatic-Paper-Carton-Box-Gluing-Stitching\\_1600997391034.html?spm=a2700.galleryofferlist.p\\_offer.d\\_image.38fa13a0ANaefD&s=p](https://www.alibaba.com/product-detail/Automatic-Paper-Carton-Box-Gluing-Stitching_1600997391034.html?spm=a2700.galleryofferlist.p_offer.d_image.38fa13a0ANaefD&s=p)

Alibaba.com. (s.d.). *720 Electric roller pressing machine paper*. [https://www.alibaba.com/product-detail/720-Electric-Roller-Pressing-Machine-Paper\\_1601042807437.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal\\_offer.d\\_image.614a13a0yKd7mx](https://www.alibaba.com/product-detail/720-Electric-Roller-Pressing-Machine-Paper_1601042807437.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_image.614a13a0yKd7mx)

Cangzhou Ouguan Packing Machinery Co., Ltd. (s.d.). *RS-4 combined rotary creaser slotter machine*. Alibaba.com. [https://www.alibaba.com/product-detail/RS-4-Combined-Rotary-Creaser-Slotter\\_1600536310354.html?spm=a2700.galleryofferlist.p\\_offer.d\\_image.49ea13a0I8UdiX&s=p](https://www.alibaba.com/product-detail/RS-4-Combined-Rotary-Creaser-Slotter_1600536310354.html?spm=a2700.galleryofferlist.p_offer.d_image.49ea13a0I8UdiX&s=p)

Alibaba.com. (s.d.). *Auto box/case/carton coordinate formula palletizer gantry palletizing machine with stacking machine pallet dispenser, and stacker*. [https://www.alibaba.com/product-detail/Auto-Box-Case-Carton-Coordinate-Formula\\_1601206820668.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal\\_offer.d\\_image.358a13a0MGgXA4](https://www.alibaba.com/product-detail/Auto-Box-Case-Carton-Coordinate-Formula_1601206820668.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_image.358a13a0MGgXA4)

Dongguang Xinglong Packaging Machinery Co., Ltd. (s.d.). *Factory customized fast adjust paper folding gluing machine automatic folder gluer machine*. Alibaba.com. [https://www.alibaba.com/product-detail/Factory-Customized-Fast-Adjust-Paper-Folding\\_60678941125.html?spm=a2700.galleryofferlist.p\\_offer.d\\_image.789d13a0Y1pICD&s=p](https://www.alibaba.com/product-detail/Factory-Customized-Fast-Adjust-Paper-Folding_60678941125.html?spm=a2700.galleryofferlist.p_offer.d_image.789d13a0Y1pICD&s=p)

Alibaba.com. (s.d.). *ZH-DXJ manual carton box packaging machinery corrugated carton box stitching making machine*. [https://www.alibaba.com/product-detail/ZH-DXJ-Manual-Carton-Box-Packaging\\_1601257052147.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal\\_offer.d\\_image.1a8e13a0oPa24Q](https://www.alibaba.com/product-detail/ZH-DXJ-Manual-Carton-Box-Packaging_1601257052147.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_image.1a8e13a0oPa24Q)

ZhengRun Machinery. (s.d.). *KL1300A, cardboard cutting machine, corrugated cardboard cutting machine*. ZhengRun Machinery. <https://www.zheng-run.com/cardboard-slitting-machine/kl1300a>

MHI (Mitsubishi Heavy Industries). (s.d.). *Box-making machine (Flexo-folder gluer EVOL)*. MHI. <https://www.mhi.com/products/industry/box-making-machine.html#flexo-folder-gluer-evol>

Dayuan. (s.d.). *Dayuan MHC-1900B machinery from China*. Alibaba.com. [https://www.alibaba.com/product-detail/Dayuan-MHC-1900B-Machinery-From-China\\_1600158867144.html?spm=a2700.galleryofferlist.p\\_offer.d\\_title.658b13a0NZZ67S&s=p](https://www.alibaba.com/product-detail/Dayuan-MHC-1900B-Machinery-From-China_1600158867144.html?spm=a2700.galleryofferlist.p_offer.d_title.658b13a0NZZ67S&s=p)

Alibaba.com. (s.d.). *High quality full automatic rotary slotting*. [https://www.alibaba.com/product-detail/High-Quality-Full-Automatic-Rotary-Slotting\\_1600793491615.html?spm=a2700.galleryofferlist.p\\_offer.d\\_image.6ea313a0FES-nEF&s=p](https://www.alibaba.com/product-detail/High-Quality-Full-Automatic-Rotary-Slotting_1600793491615.html?spm=a2700.galleryofferlist.p_offer.d_image.6ea313a0FES-nEF&s=p)

Alibaba.com. (s.d.). *CMYK water-based digital corrugated carton*. [https://www.alibaba.com/product-detail/Cmyk-Water-based-Digital-Corrugated-Carton\\_1601507461557.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal\\_offer.d\\_title.251513a0sWBgRV](https://www.alibaba.com/product-detail/Cmyk-Water-based-Digital-Corrugated-Carton_1601507461557.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.251513a0sWBgRV)

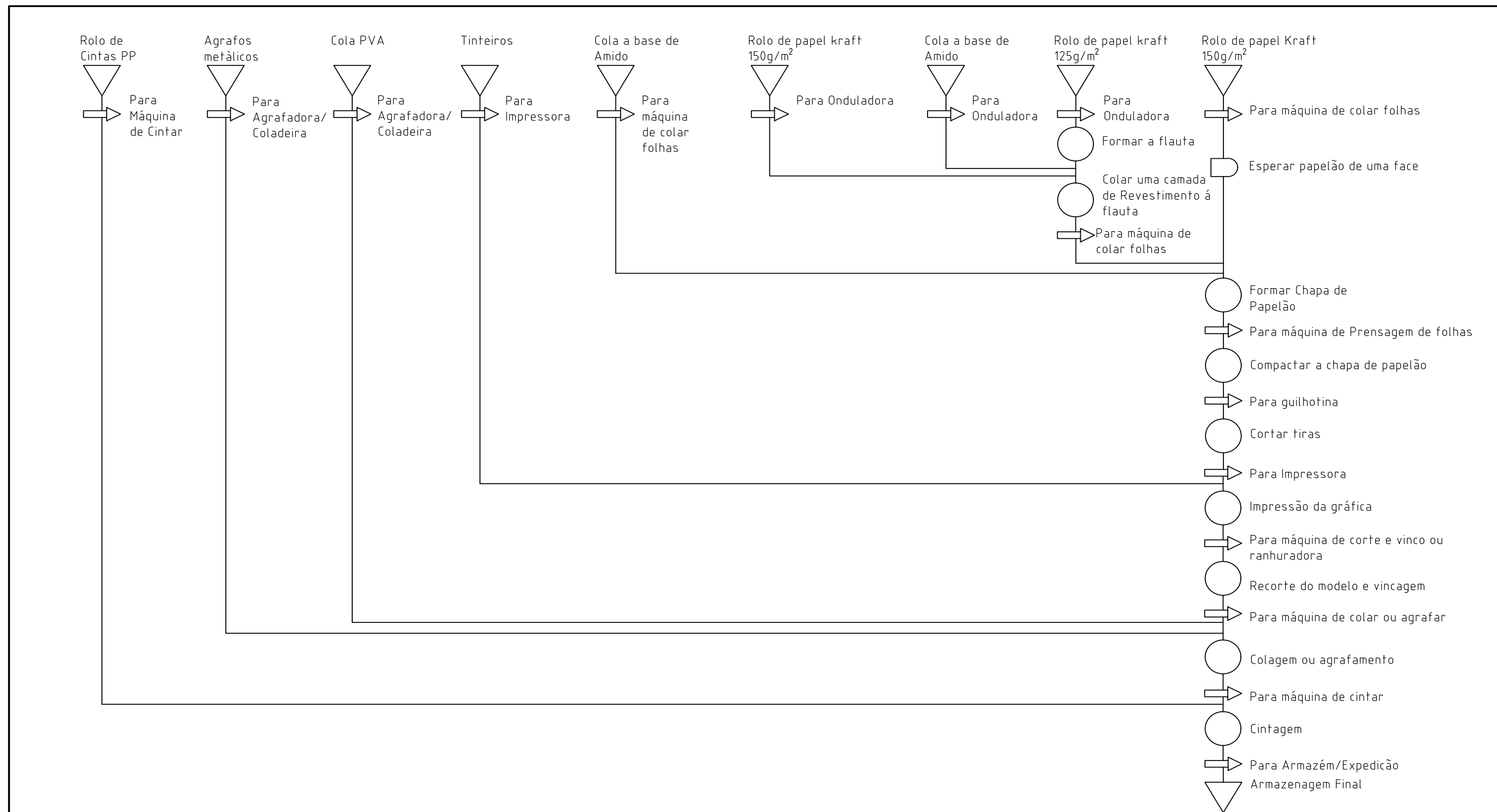
GenKing. (s.d.). *VOLVO 450KVA 3 phase silent diesel generator incl. ATS (GKV-500)*. The Generator King. <https://genking.co.za/diesel-generator/volvo-450kva-3-phase-silent-diesel-generator-gkv-500/>

Guangzhou Leadcom Compressor CO.,Ltd. (s.d.). *30kw air compressor with 5 m<sup>3</sup>/min free air delivery and 8bar pressure. Made-in-China.com*. <https://leadcom-compressor.en.made-in-china.com/product/wTLYdFcrSvhS/China-30kw-Air-Compressor-with-5-M3-Min-Free-Air-Delivery-and-8bar-Pressure.html>

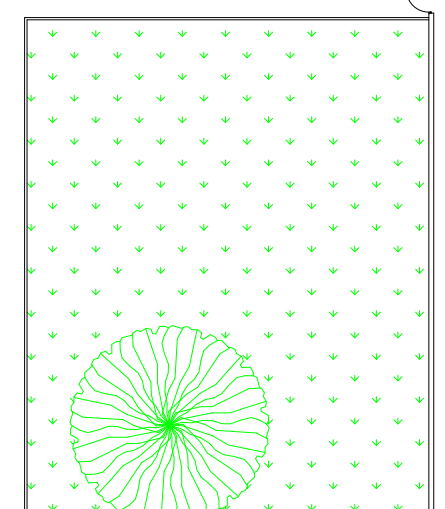
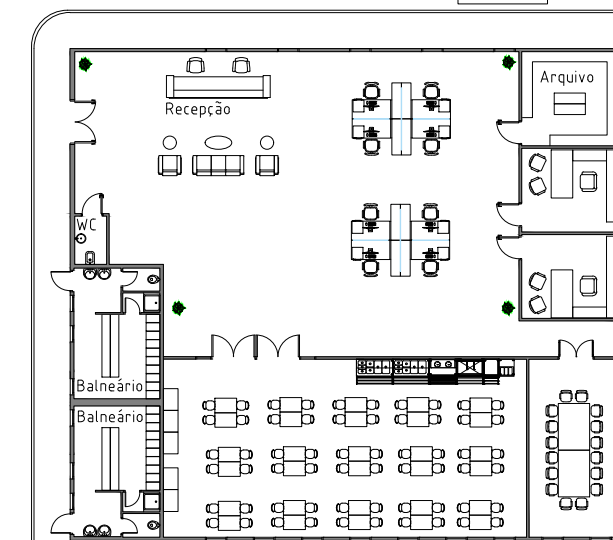
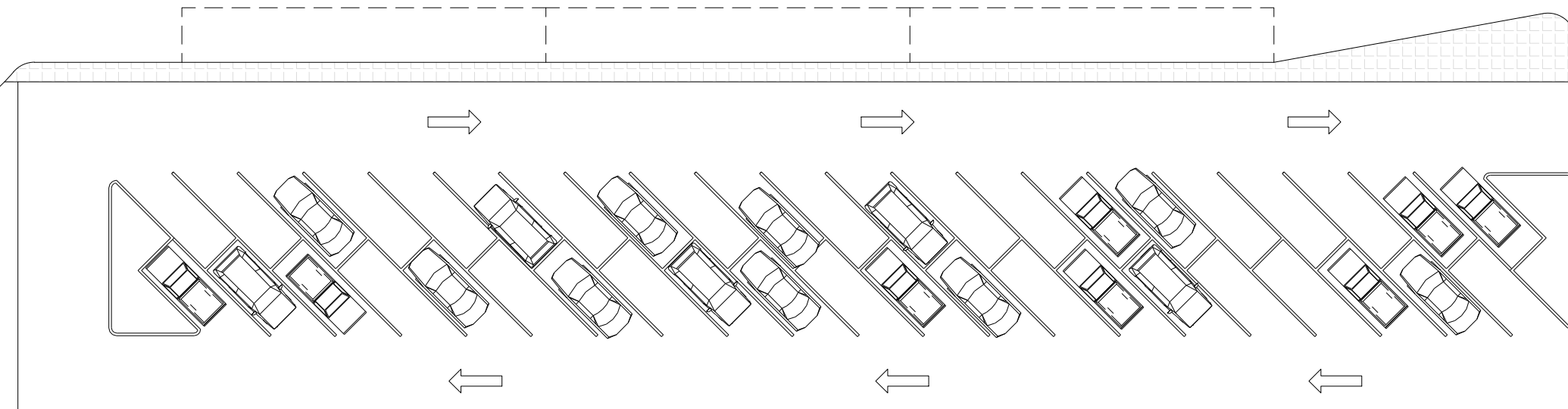
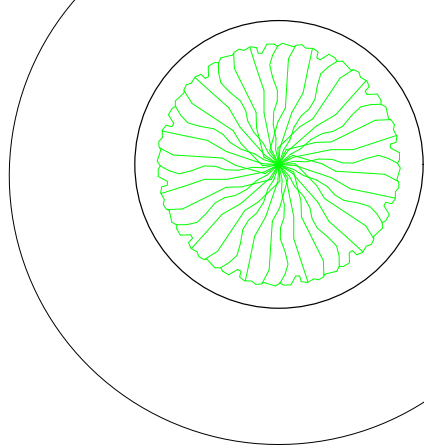
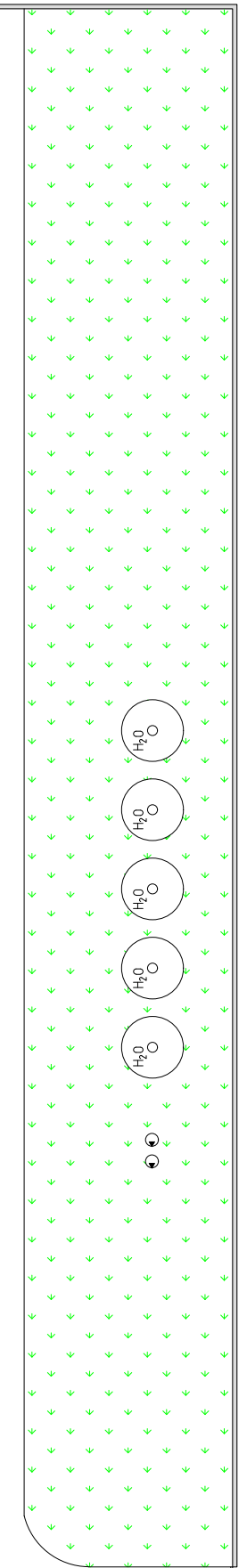
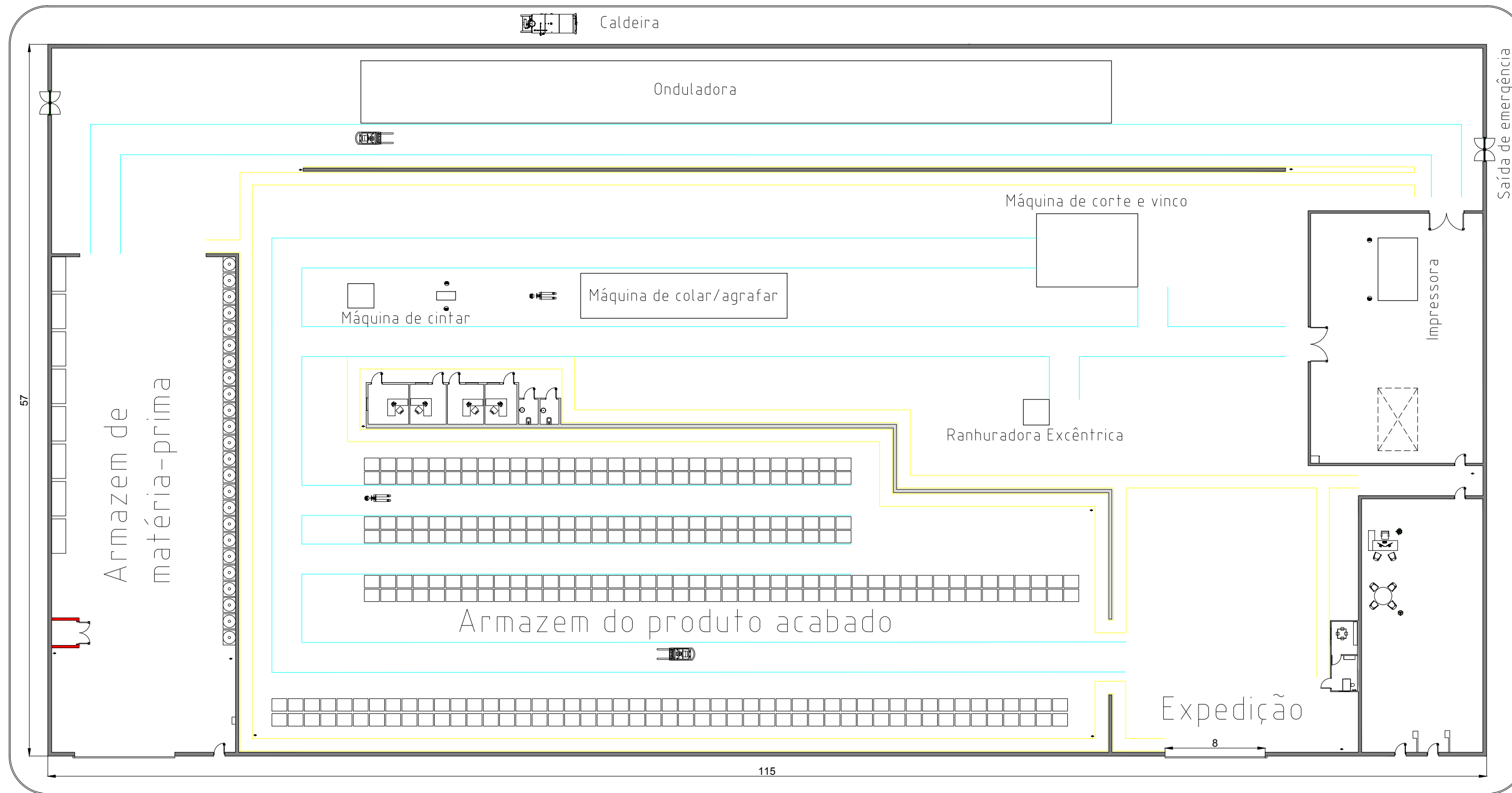
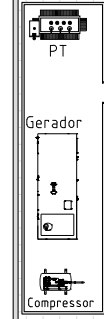
# ANEXOS

Anexo 1 - Gráfico do fluxo de processo tipo material.

Anexo 2 - Implantação.



	Data	Rubrica	Caixas de Papelão de Parede Simples	DEMA.TL.AI
Executado	07/25	Kara, Mohamed		
Verificado		Eng. Camareno		
Aprovado				
Gráfico do fluxo de processo tipo Material				UEM-FE
Substituído por				



Nota: 1. Todas dimensões em metros;	Executado	Data	Rubrica	Fábrica de Caixas de Papelão	DEMA.TL.AII
	Verificado		Kara, Mohamed		
	Aprovado		Eng. Cataramo		
1:200		Desenho da Planta		UEM-FE	
				Substituído por	