



Universidade de Aveiro Departamento de Química  
2008

**João Duarte Lopes  
da Silva Henriques  
Fidalgo**

**Estudo comparativo de evaporadores de  
tubos e lamelas**



**João Duarte Lopes  
da Silva Henriques  
Fidalgo**

**Estudo comparativo de evaporadores  
tubulares e de lamelas**

Complemento (6 ECTS) ao Anteprojecto (Estudo de Pré-viabilidade de Ampliação e Modernização de uma Unidade Industrial de Pasta para Papel – Lavagem, Crivagem e Depuração, e Evaporação, 24 ECTS) para correspondência com a dissertação/projecto (30 ECTS) do Mestrado Integrado em Engenharia Química da Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Química, realizado sob a orientação científica do Engenheiro Alexandre Martins, Professor Auxiliar Convidado do Departamento de Química da Universidade de Aveiro.

## **o júri**

presidente

**Prof. Doutor José Cruz Pinto**

Professor Catedrático do Departamento de Química da Universidade do Aveiro

**Prof. Doutora Graça Carvalho**

Professor Auxiliar da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

**Engenheiro Alexandre Martins**

Professor Auxiliar Convidado do Departamento de Química da Universidade do Aveiro

## **agradecimentos**

Primeiro, quero deixar uma palavra de apreço ao meu orientador, Prof. Dr. Alexandre Martins, pelos conhecimentos, informação fornecida e disponibilidade sempre demonstrada para o acompanhamento desta dissertação.

Seguidamente, gostaria de agradecer ao Engenheiro Alexandre Gaspar, RAIZ, e ao Doutor Vicente Leitão, Entidade Bancária Privada (anonimato por parte da entidade foi exigido). Sem eles, este trabalho não poderia ter chegado a bom porto.

Finalmente, um agradecimento muito especial para os que mais me apoiaram: família e amigos.

**palavras-chave**

indústria, pasta, papel, *kraft*, equipamento, instalação, cascata, múltiplo efeito, evaporação, evaporador, tubo, tubular, lamela, filme

**resumo**

Neste trabalho estudam-se os principais equipamentos existentes, presentemente, nas áreas de evaporação inseridas numa unidade industrial de produção de pasta pelo processo *Kraft*, discutindo-se a sua construção em lamelares e e tubulares. O trabalho compreende a identificação e caracterização dos evaporadores e da instalação de evaporação, discussão dos vários tipos de evaporadores, seu dimensionamento e uma análise económica do investimento.

**keywords**

industry, pulp, paper, *kraft*, equipment, instalation, cascade, multiple efect, evaporation, evaporator, tube, tubular, lammela, film

**abstract**

This work intends to study the main existing equipment in the evaporation area, within a *Kraft* pulp mill, considering different types of equipments. The work includes the identification and characterization of the battery of evaporators, the discussion of different types of equipment, the design and an economical analysis of the investment.

## Índice

Sumário Executivo .....	1
1. Enquadramento e Descrição da Instalação de Evaporação no Processo <i>Kraft</i> .....	2
1.1. Enquadramento da Instalação de Evaporação no Processo <i>Kraft</i> .....	2
1.2. Propriedades do Licor Negro e Descrição do Processo de Evaporação .....	4
1.2.1. Propriedades do licor negro .....	4
1.2.2. Descrição do Processo de Evaporação .....	5
1.2.3. Tipos de Evaporadores – suas Vantagens e Desvantagens .....	7
1.2.4. Equipamento auxiliar .....	15
2. Dimensionamento de uma Linha de Evaporação .....	18
2.1. Metodologia de Cálculo para Bateria de Evaporadores .....	19
2.2. Opções Processuais .....	20
3. Diagrama da Instalação .....	21
4. Análise Económica .....	23
5. Bibliografia .....	26
6. Anexo .....	27

## Lista de Figuras

<b>Figura 1.</b> Diagrama do enquadramento da instalação de evaporação.....	3
<b>Figura 2.</b> Diagrama simplificado de um único estágio de evaporação. ....	6
<b>Figura 3.</b> Diagrama simplificado de uma bateria de evaporação de três efeitos.....	7
<b>Figura 4.</b> Evaporador tubular de filme ascendente. ....	8
<b>Figura 5.</b> Evaporador de lamelas de filme descendente.....	9
<b>Figura 6.</b> Condensação segregada num evaporador de lamelas de filme descendente. .	10
<b>Figura 7.</b> Evaporador tubular de filme descendente, com circulação de licor negro pelo interior dos tubos. ....	11
<b>Figura 8.</b> Segregação do condensado por baffling. ....	12
<b>Figura 9.</b> Evaporador tubular de filme descendente, com circulação de licor negro pelo exterior dos tubos. ....	13
<b>Figura 10.</b> Evaporador de circulação forçada ou evaporador cristalizador. ....	14
<b>Figura 11.</b> Coluna de desabsorção (stripping).....	16
<b>Figura 12.</b> Diagrama de uma bomba de vácuo.....	17
<b>Figura 13.</b> Metodologia de Cálculo para um Bateria de Evaporação .....	19
<b>Figura 14.</b> Esquema de uma instalação de evaporação de sete efeitos.....	21
<b>Figura 15.</b> Diagrama de uma instalação de evaporação de sete efeitos.....	22
<b>Figura A - 1.</b> Imagem do e-mail enviado à Exporatlas.....	27



## **Lista de Tabelas**

<b>Tabela 1.</b> Distribuição de CQO* nos condensados da evaporação.....	10
<b>Tabela 2.</b> Simulação de Rendas de Leasing Mobiliário, para uma Instalação de Evaporação. ....	23
<b>Tabela 3.</b> Simulação de Rendas de Leasing Mobiliário, para um Equipamento de Evaporação. ....	24

## Nomenclatura

Símbolo	Designação	Unidades
$BPR_i$	Subida do ponto de ebulição no efeito $i$ , onde $i = 1,2,\dots,N$	°C
$C_i$	Condensado que sai do efeito $i$ , onde $i = 1,2,\dots,7$	ton/h
$d$	Depreciação do equipamento	euros/ano
$H_{Ci}$	Entalpia do condensado subarrefecido $i$ , onde $i = 1,2,\dots,7$	kJ/kg
$h_{Li}$	Entalpia do licor $i$ , onde $i = 1,2,\dots,7$	kJ/kg
$h_{V0}$	Entalpia do vapor alimentado	kJ/kg
$H_{Vi}$	Entalpia do vapor sobreaquecido $i$ , onde $i = 1,2,\dots,7$	kJ/kg
$L_0$	Licor negro fraco alimentado	kg/h
$L_i$	Licor que sai do efeito $i$ , onde $i = 1,2,\dots,7$	ton/h
$n$	número de anos de vida útil do equipamento	
$Q_i$	Calor gerado no efeito $i$ , onde $i = 1,2,\dots,N$	kJ/kg
$\tau_i$	Temperatura efectiva no efeito $i$ , onde $i = 1,2,\dots,N$	°C
$T_i$	Temperatura do vapor saturado do efeito $i$ ( ) , onde $i = 1,2,\dots,N$	°C
tad	<i>ton air dry</i> (toneladas em ar seco)	ton
$V_0$	Vapor vivo alimentado ao efeito 1	ton/h
$V_i$	Vapor gerado no efeito $i$ , onde $i = 1,2,\dots,7$	ton/h
$X_0$	concentração percentual mássica de sólidos do licor fraco alimentado	%
$X_i$	concentração percentual mássica de sólidos do licor no efeito $i$ , onde $i = 1,2,\dots,N$	%
$V_{init}$	Valor original do equipamento no início da sua vida útil, já com todos os gastos associados incluídos	euros

## Sumário Executivo

A dissertação proposta no âmbito do Mestrado Integrado de Engenharia Química tem como finalidade a elaboração de um estudo comparativo entre evaporadores de lamelas e de tubos, numa indústria de produção de pasta pelo processo *Kraft*. Os critérios de dimensionamento fornecidos foram: produção de 400mil tad de pasta por ano (considerando 355 dias de operação da fábrica) e capacidade de evaporação de 190m<sup>3</sup> (para um aumento de concentração de sólidos no licor negro de 16% para 75%).

No estudo elaborado sobre os evaporadores, foram tomados em conta a sua construção/desenho, tubular ou de lamelas, e o seu funcionamento, de filme ascendente ou descendente (e circulação do licor negro, por dentro ou por fora dos elementos de transferência de calor). Em relação ao funcionamento, no caso de filme ascendente, os evaporadores tubulares tradicionais têm más condições de funcionamento para cargas de licor inferiores a 50% da sua capacidade. Mais vantajosos são os evaporadores de filme descendente que não têm este problema e o seu funcionamento em contra-corrente beneficia a evaporação. Em termos de desenho, as lamelas apresentam mais vantagens do que os tubos, nomeadamente na limpeza do equipamento (mais difícil no arranjo tubular), formação de espuma (mais problemática e comum no desenho com tubos) e capacidade de escoamento do vapor gerado, possibilitando o evaporador de lamelas de ser usado como concentrador.

Partindo da estimativa de custo total de equipamento, assumiu-se o seu financiamento através de um empréstimo bancário. Através de uma simulação bancária para o efeito, obteve-se um período de pagamento de 10 anos, com o valor de entrada de 1% do capital pedido, 30 milhões de euros, para a bateria de evaporadores (com todos os custos adicionais, para além do equipamento principal já incluídos), com um valor residual de 2%, e com um período de amortização do investimento de 10 anos.

Para simular a avaliação da viabilidade do investimento, é elaborada uma análise económica, que consistiria em estimativas dos lucros e custos que o projecto gera, onde estão presentes indicadores de viabilidade, como a Taxa Interna de Retorno, o Valor Líquido Actual e o *Payback Period*. Importante m relação ao investimento neste equipamento é a depreciação, que avalia a perda de valor que o equipamento sofre ao longo do tempo. Pelo método de linear, pode estimar-se um valor máximo de depreciação de 3M€/ano.

## 1. Enquadramento e Descrição da Instalação de Evaporação no Processo *Kraft*

### 1.1. Enquadramento da Instalação de Evaporação no Processo *Kraft*

Uma unidade industrial de produção de pasta, pelo processo de cozimento *Kraft* (à semelhança de outros processos de cozimento), tem uma linha de produção de fibra (sendo esta a linha principal de produção) e um ciclo de recuperação de químicos e energia. A instalação de evaporação é uma das áreas de junção entre a linha de produção e o ciclo de recuperação, como é descrito seguidamente.

A instalação de evaporação é constituída por diferentes tipos de equipamento (bombas, tanques, etc), sendo os evaporadores o equipamento principal existente. O evaporador, independentemente do seu desenho, é um equipamento que promove a evaporação de água para concentrar o licor negro. Os dois tipos de evaporadores estudados (e mais importantes a nível industrial) foram os de tubos e os de lamelas. O primeiro tipo é constituído por vários tubos em paralelo, dispostos na vertical, encaixados em pratos perfurados. O licor negro pode circular ascendentemente (ver Figura 4), por dentro dos tubos e o vapor pelo exterior, ou descendentemente (ver Figura 7) com o licor a circular ou por dentro ou por fora dos tubos. O segundo tipo de evaporadores é constituído por várias lamelas (ver Figura 5), dispostas paralelamente, onde o licor negro circula pelo exterior das lamelas, e o vapor pelo interior destas.

A associação destes evaporadores (também denominados de efeitos) é feita dispondo-os em série, normalmente entre 5 a 7, formando assim uma bateria de evaporação ou de múltiplo efeito (ver Figuras 14 e 15). O funcionamento de uma bateria de evaporação, em termos de correntes processuais, é em contra-corrente, com o vapor vivo a entrar no primeiro evaporador e o licor negro a ser processado a entrar, teoricamente, no último efeito.

Dependendo da tecnologia empregue na linha de produção de pasta, a secção de evaporação pode receber maior ou menor quantidade de licor negro das secções de cozimento e lavagem (sendo a maioria deste licor a ser processado na evaporação proveniente da lavagem). A necessidade de se sujeitar o licor negro à evaporação é devido ao facto do licor, que é recuperado, conter demasiada água para ser utilizado como combustível na caldeira de recuperação. Por evaporação de água presente no licor, consegue-se atingir concentrações de licor de 65% a 75% de sólidos, partindo de concentrações à entrada da evaporação de 15% a 16%. Algumas instalações modernas conseguem atingir níveis percentuais de sólidos em solução de 80%. Com estas concentrações finais, o licor negro já pode ser utilizado como combustível na caldeira de recuperação.

No âmbito do enquadramento da área de evaporação no processo *Kraft*, descreve-se sumariamente a seguir as várias etapas, tanto da linha de produção, como do ciclo de recuperação, sendo a primeira etapa da linha de produção o processamento da matéria prima, efectuado no parque de madeiras.

Na etapa designada por cozimento, a madeira processada anteriormente no parque de madeiras é submetida a uma reacção química (com uma solução alcalina denominada licor branco) para a obtenção de pasta crua.

Na área da lavagem, crivagem e depuração, a pasta é crivada, lavada e separada de todo o tipo de contaminantes (areias, incozidos, nós, finos, etc).

Das duas anteriores áreas, cozimento e lavagem, o licor negro nelas produzido é enviado para a instalação de evaporação, para o seu processamento.

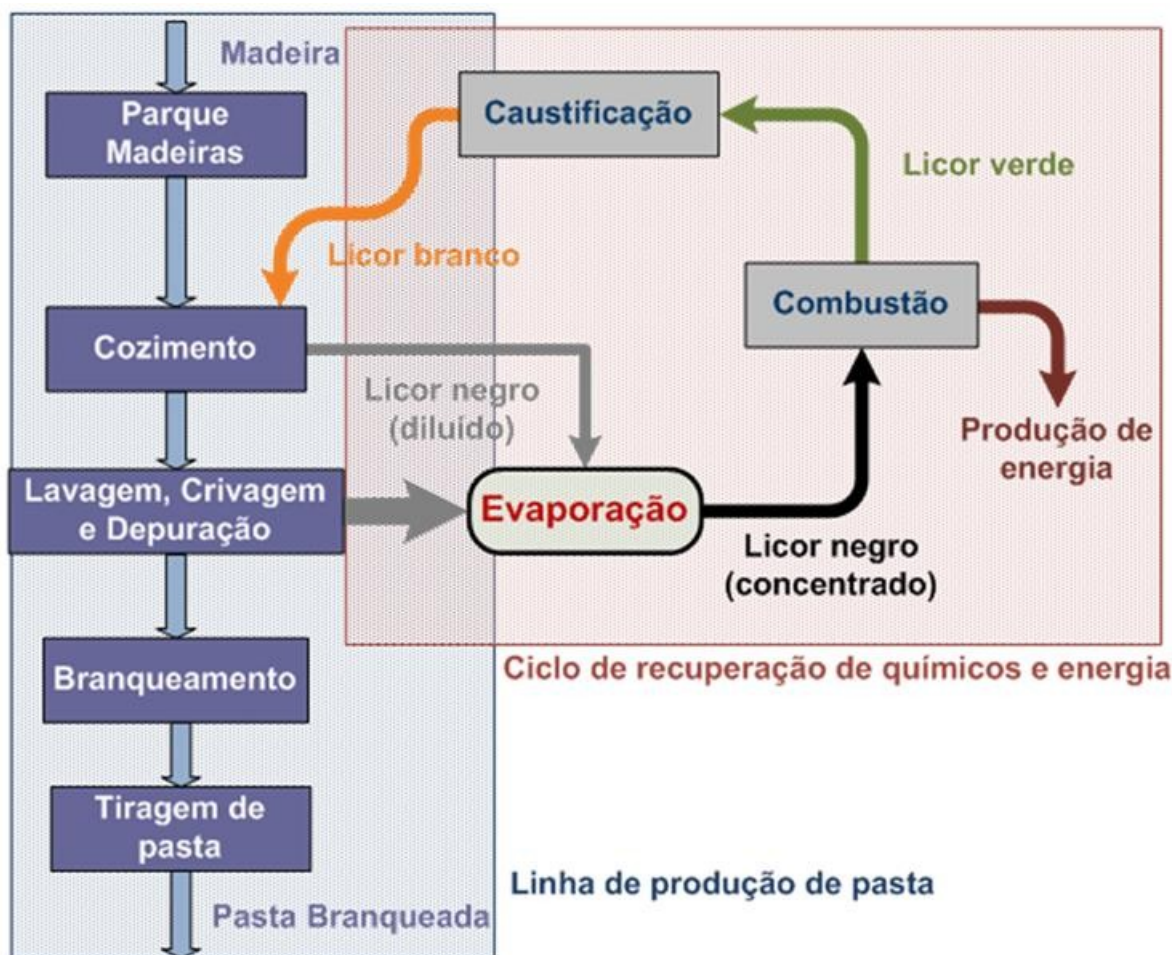
Na linha de produção de pasta branqueada, no seguimento da lavagem, crivagem e depuração, está a secção de branqueamento, para onde a pasta é enviada. Nesta área a pasta é submetida a outras reacções químicas para adquirir brancura.

Finalmente, como último passo na produção de pasta branqueada, em fábricas não integradas, está a secção de tiragem da pasta. A partir desta, obtêm-se os fardos de pasta branca que são o produto final.

No ciclo de recuperação, iniciado na área de evaporação, o licor negro concentrado prossegue para ser queimado, na caldeira de recuperação, onde a partir da escória da fornalha (*smelt*) segue para a recuperação química.

Na área da caustificação, o licor verde proveniente da dissolução do *smelt* na caldeira de recuperação é submetido a reacções químicas que permitem obter o licor branco (utilizado no área de cozimento, para onde é enviado).

Na Figura 1 está esquematicamente representado um diagrama que ilustra, com ênfase na área de evaporação, a linha de produção e os ciclos de recuperação descritos.



**Figura 1.** Diagrama do enquadramento da instalação de evaporação.

## 1.2. Propriedades do Licor Negro e Descrição do Processo de Evaporação

Para a compreensão do processo, descrição e funcionamento de uma instalação de evaporação, é necessário ter em conta a matéria prima da área de evaporação, que é o licor negro, e suas propriedades (químicas e físicas).

### 1.2.1. Propriedades do licor negro

A constituição do licor negro compreende água com vários componentes dissolvidos, dos quais, aproximadamente, 60% do total de sólidos são material orgânico e o restante material inorgânico e inerte.

#### Viscosidade

A viscosidade é função da concentração e temperatura, sendo específica de cada licor. Depende também da espécie de madeira, do tipo de cozimento, do tratamento térmico que o licor tenha recebido, etc.

A viscosidade aumenta sempre com a percentagem de sólidos em suspensão, podendo ter aumentos bruscos a partir de certo valor de conteúdo de sólidos, e diminui com o aumento de temperatura. Na prática, o limite de bombagem de licor negro é para um intervalo de viscosidade de 300cP a 500cP. A viscosidade deverá estar sempre abaixo deste nível, o que normalmente.

Para redução da viscosidade, pode-se submeter o licor negro a um processo de tratamento térmico (normalmente designado com a sigla inglesa HTP – *Heat Treatment Process*), que quebra as moléculas orgânicas de grande massa molecular, por aquecimento do licor até 180°C (aproximadamente), durante 30 minutos. Este procedimento reduz, irreversivelmente, a viscosidade do licor negro.

#### Subida do ponto de ebulição (BPR – *Boiling Point Rise*)

O BPR é específico de cada licor negro e depende da quantidade e composição das substâncias dissolvidas. Este aumenta com a concentração de sólidos em solução, e ao longo da bateria de evaporadores. O BPR total vai ser responsável por grande parte do consumo da energia térmica disponível na instalação de evaporação.

#### Densidade

A densidade do licor negro é função da concentração. Para uma temperatura de referência constante, aumenta com a concentração de sólidos. Também é dependente da temperatura.

#### Tensão superficial

A tensão superficial é uma grandeza que tem implicações importantes na evaporação, já que está associada à formação de espuma, o que é indesejável numa instalação de evaporação. Valores baixos para a tensão superficial aumentam a tendência para a formação de espuma. Esta aumenta com a concentração de sólidos e diminui com o aumento da temperatura. Assim, a formação de espuma é um problema principalmente nos estágios de evaporação que trabalham com licor negro de baixa concentração.

Com o objectivo de diminuir a tendência ou possibilidade de formação de espuma, existem alguns procedimentos que se utilizam de forma a aumentar a tensão superficial do licor. Uma prática corrente é a remoção de extractáveis, que diminuem a tensão superficial, especialmente se as suas concentrações forem altas (o que é possível de prever mediante a espécie de madeira utilizada como matéria prima). Outra possibilidade existente é a recirculação de licor negro concentrado para ser misturado com licor negro menos concentrado a fim de evitar a formação de espuma (procedimento este denominado de "sweetening").

### Calor específico

Com um importante papel a nível do dimensionamento da instalação de evaporação, mais especificamente nos requisitos energéticos, este diminui com o aumento da concentração de sólidos do licor negro.

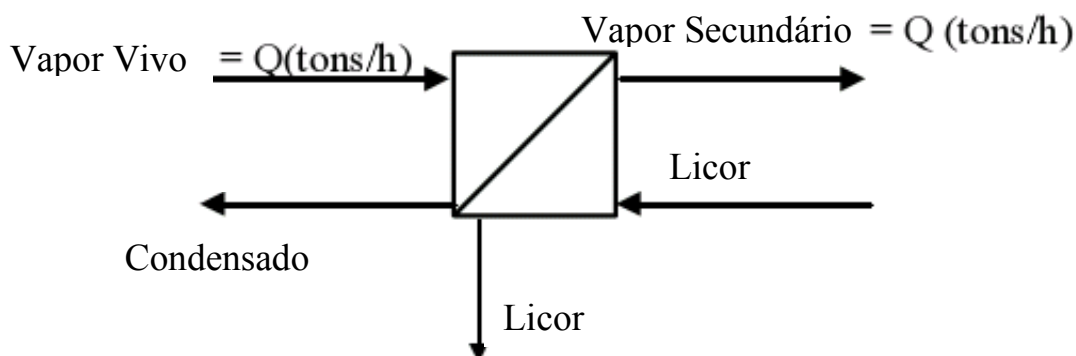
### Solubilidade de substâncias no licor negro

As substâncias inorgânicas presentes no licor negro estão, na sua maioria, ligadas a compostos orgânicos dissolvidos. Uma pequena parte destas substâncias inorgânicas, como  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{Na}_2\text{S}$ , entre outras, é que se encontram dissolvidas no licor negro como sais. Durante o processo de concentração, normalmente para uma concentração de sólidos de 45% a 60%, pode atingir-se (dependendo das quantidades) a saturação de, por exemplo,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  e  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , começando estes a precipitar. Dependendo da concentração de sódio efectivo, a saturação (e consequente precipitação) pode começar mais cedo, se a concentração de sólidos for maior.

Este item abrange tópicos anteriormente mencionados, como por exemplo, o BPR do licor ao longo dos vários estágios de evaporação, mas relaciona-se também a parte operacional dos evaporadores. A precipitação de compostos acarreta consequências para o equipamento, já que suja (*fouling*) as paredes deste, alterando as forças motrizes e a transferência de calor, entre outros problemas (como entupimentos, dificuldade de escoamento de correntes, etc). No entanto, a precipitação de compostos inorgânicos que suja rapidamente o interior do evaporador é de fácil lavagem. Um maior cuidado é necessário ter com compostos orgânicos, em especial a lenhina e compostos à base de lenhina, existentes no licor negro, que, para valores de  $7 \text{ g}_{\text{NaOH}}/\text{l}$  a  $9 \text{ g}_{\text{NaOH}}/\text{l}$  e pH abaixo de 11, começam a precipitar, sujando e contaminando as superfícies de transferência de calor.

## **1.2.2. Descrição do Processo de Evaporação**

A instalação de evaporação tem como função a concentração do licor negro por remoção de água. Ao ser fornecido calor, separa-se a água (por evaporação) do licor, que contém solutos não voláteis. Uma instalação de evaporação consiste normalmente em várias unidades de transferência de calor ligadas em série, que utiliza vapor como meio de aquecimento e o licor negro como o meio que recebe o calor disponível. Esta instalação é frequentemente designada de bateria de evaporadores ou instalação de evaporação de múltiplo efeito, e o evaporador designado de estágio de evaporação ou efeito. Na Figura 2 está descrito, na forma mais simples, o funcionamento de um evaporador, em termos de correntes de entrada e saída.



**Figura 2.** Diagrama simplificado de um único estágio de evaporação.

Um estágio de evaporação é um equipamento que comporta um ou vários permutadores de calor que operam à mesma pressão. Os estágios são numerados na direcção que o vapor percorre, sendo o primeiro estágio aquele que opera à maior pressão. O corpo do evaporador é uma unidade de transferência de calor e um estágio pode ter vários corpos em paralelo. Num único estágio de evaporação, como o indicado na Figura 2, existem 5 correntes. Nesta figura também está indicado, de forma simplificada, a divisão entre a parte de vapor vivo e condensado e a parte de licor negro e vapor secundário. A divisão é correspondente à área de transferência de calor.

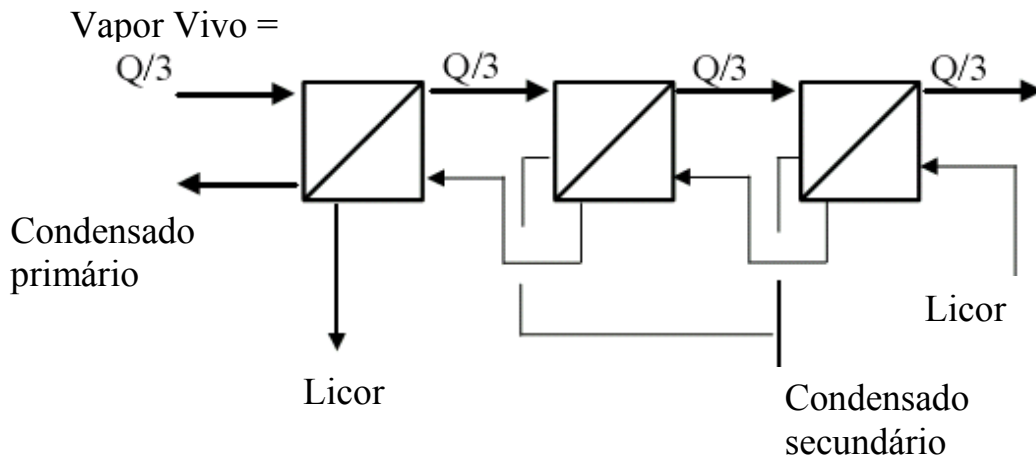
O vapor vivo que é alimentado a um único estágio de evaporação, ou ao primeiro estágio de uma bateria de evaporadores, é vapor limpo, sem contaminantes e é proveniente do sistema de distribuição de vapor da fábrica. Tem, normalmente uma pressão de 0,3MPa a 0,4MPa. Associado ao vapor vivo obtém-se o condensado primário, que é um condensado limpo.

O vapor secundário é vapor evaporado do licor negro. Numa bateria de evaporadores, o vapor gerado no primeiro efeito é utilizado para aquecer o segundo efeito. O vapor gerado no segundo efeito é utilizado para aquecer o terceiro efeito, e assim sucessivamente. Este vapor contém sempre algum material orgânico arrastado. Associado a este vapor, está o condensado secundário. Contém vários contaminantes orgânicos em várias concentrações, e não é tão limpo como o condensado primário. Denomina-se por *foul condensate* o condensado mais contaminado (sujo) resultante do processo de evaporação, que é purificado numa coluna de desabsorção.

Associado ao processo de evaporação, existe a libertação de gases não condensáveis (*NonCondensable Gases – NCG*) do licor negro no decurso da evaporação. Estes gases têm odor, são venenosos e inflamáveis. Requerem assim a sua extracção da instalação de evaporação e tratamento adequado, como por exemplo, a incineração no forno da cal.

Uma instalação de evaporação de múltiplo efeito consiste, normalmente, em 5 a 7 estágios em série. Na terminologia ainda hoje em vigor, é prática chamar-se concentrador ao primeiro estágio de evaporação. Este nome tem um fundo histórico pelo facto de, em instalações de evaporação mais antigas, o concentrador final estar numa posição destacada da restante bateria, e ter uma construção diferente. Hoje em dia isso já não se verifica, mas a terminologia mantém-se. O último efeito da bateria tem equipado um condensador de superfície (*surface condenser*), que é um condensador arrefecido a água para condensar o vapor gerado neste efeito.





**Figura 3.** Diagrama simplificado de uma bateria de evaporação de três efeitos.

### 1.2.3. Tipos de Evaporadores – suas Vantagens e Desvantagens

#### Evaporador tubular de filme ascendente (Tubular Rising Film Evaporator – TRFE)

Este tipo de evaporadores, também designados de evaporador tubular de filme ascendente foi dos mais utilizados na indústria da pasta para evaporação do licor negro até meados de 1980. Na Figura 4 está esquematizado um evaporador deste tipo.

A forma de aquecimento é por um corpo ou carcaça única, preenchida por tubos montados verticalmente. O licor negro circula dentro do evaporador por dentro destes tubos. O comprimento típico do tubo é de 8,5m com um diâmetro nominal de 50mm, e a grossura das paredes de 1,5mm. Os tubos são encaixados num painel perfurado. O licor negro é alimentado pela caixa de alimentação, na base do evaporador, onde é distribuído pelos tubos, e o vapor é alimentado dentro da carcaça, no exterior dos tubos, transferindo-se o calor pelas paredes dos tubos para o licor negro.

O licor sobe por dentro dos tubos onde é, primeiramente, pré-aquecido e gradualmente começa a entrar em ebulição. O vapor libertado na ebulição tem um volume específico grande, o que aumenta a velocidade da mistura de licor negro e vapor, aumentando conseqüentemente a transferência de calor. Para taxas de evaporação baixas, a ebulição não é estável. A transferência de calor é pequena, e a formação de espuma é um problema comum devido à existência de pontos de sobre-aquecimento. No entanto, para uma carga parcial de 50%, as condições de escoamento normalmente estabilizam, já que a velocidade do vapor gerado dentro dos tubos é suficientemente grande. **Isto apresenta já um desvantagem para este tipo de evaporadores que é o facto de não poderem ser usados com uma carga parcial baixa (inferior a 50%).**

O vapor e o licor negro são, primeiro, separados num prato deflector colocado no painel perfurado superior. O vapor circula através do separador de vapor (também denominado de *vapor head*). Este é limpo num separador antes de ser transferido para o efeito seguinte. Este tipo de unidades de evaporação, em especial nos últimos efeitos, costuma ser equipado com um prato de separação (*baffling plate*), no lado da carcaça. O objectivo disto é conseguir a separação do condensado em duas fracções de forma a que o vapor mais limpo condense antes do *baffling plate* e o vapor mais contaminado (contendo compostos orgânicos voláteis de enxofre e metanol) condense depois, numa secção de pós-condensação. A isto denomina-se condensação segregada. **Outra**

desvantagem deste tipo de evaporadores é que um tubo de circulação de licor não pode ser limpo por lavagem. Requer limpeza manual por processos mecânicos.

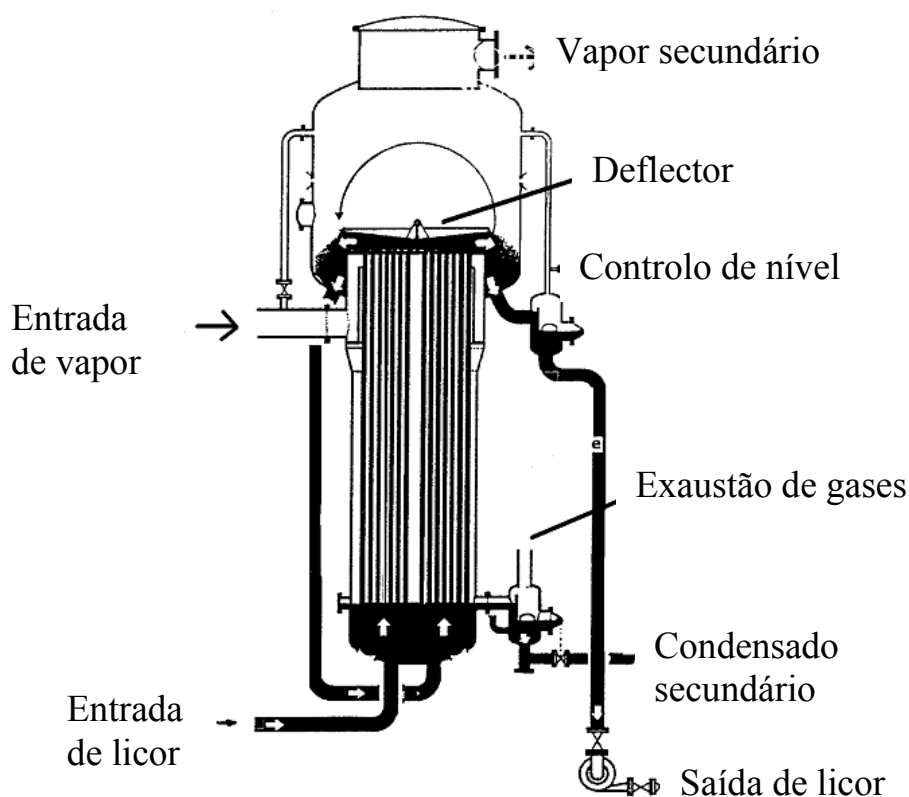


Figura 4. Evaporador tubular de filme ascendente.

#### Evaporador de filme descendente (*Falling Film Evaporator* – FFE)

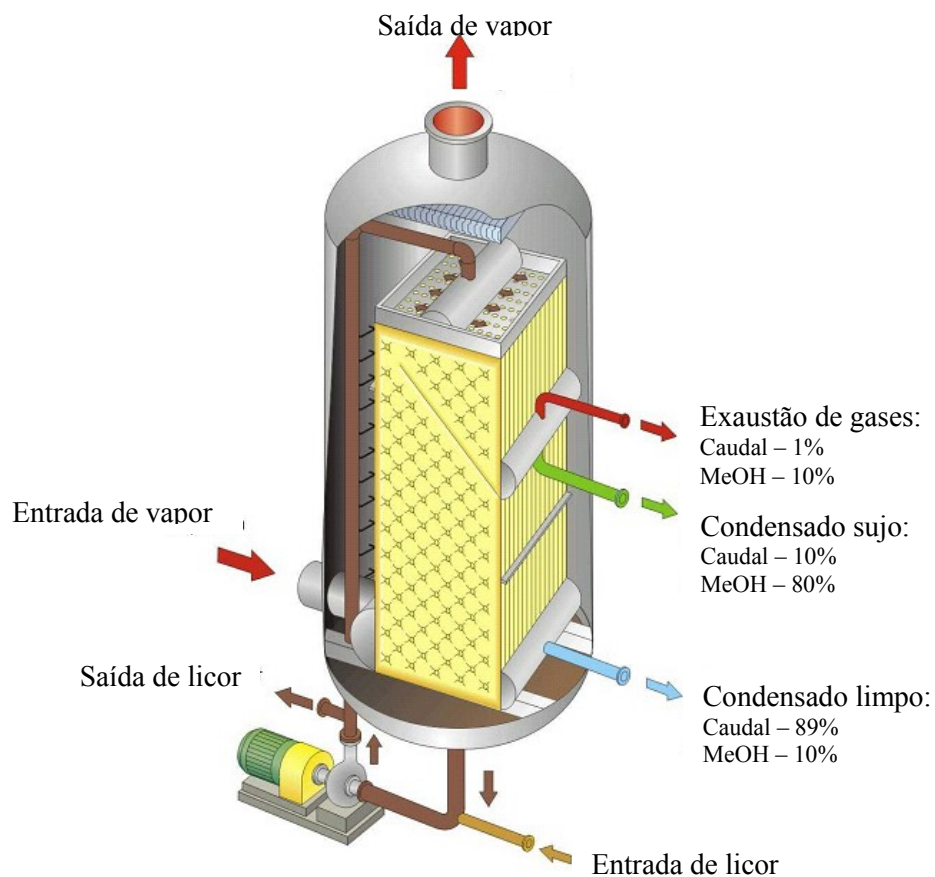
Neste tipo de equipamento de evaporação, o licor negro é alimentado pela cauda do evaporador, onde é mantido a um nível fixo. É então levado ao topo do elemento de aquecimento por uma bomba de circulação, e escoar descendemente pelo evaporador, pela superfície de aquecimento, por gravidade. A taxa de circulação é constante. **Isto é vantajoso para o evaporador do tipo FF (*falling film*), já que o torna insensível a variações na carga de evaporação.** Este tipo de evaporadores pode, portanto, operar com cargas de 30% a 100%, dependendo somente da precisão dos elementos de controlo. Estas vantagens resultaram no uso deste tipo de equipamento de evaporação como o preferido na maioria das recentes instalações, nos últimos anos.

A construção mais comum deste tipo de evaporadores é a seguinte:

- Lamelas (com circulação do licor negro pelo exterior das lamelas);
- Tubular (com tubos dispostos verticalmente), com duas alternativas:
  - Circulação do licor negro por dentro dos tubos;
  - Circulação do licor negro por fora dos tubos;

### Evaporador de lamelas de filme descendente ( *Lamella* FFE)

Como já foi descrito anteriormente, o licor negro é alimentado pelo fundo da unidade e levado ao topo por uma bomba de circulação. Um sistema de distribuição do licor (normalmente uma caixa com um fundo perfurado) espalha igualmente o licor pela superfície externa dos elementos de aquecimento. O licor escoa descendentemente e começa a entrar em ebulição. O vapor gerado é separado imediatamente do licor e escoo para o espaço disponível no evaporador. Um separador no topo assegura a pureza do vapor secundário. O meio de aquecimento (vapor) escoo dentro da superfície de transferência de calor da lamela. Nos estágios em que a segregação do condensado é pretendida, o vapor é alimentado à cauda do elemento de aquecimento. Noutros casos, é preferível uma alimentação pelo topo. A Figura 5 mostra um evaporador de lamelas, expondo o interior da carcaça.



**Figura 5.** Evaporador de lamelas de filme descendente.

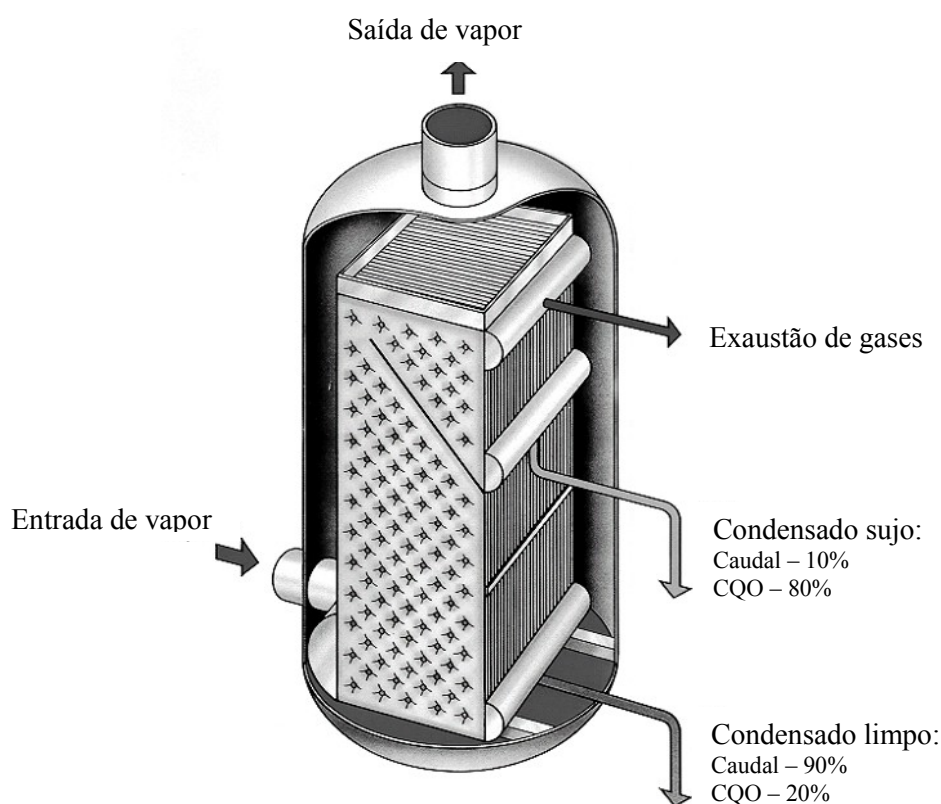
A condensação segregada ocorre quando se faz a divisão da superfície de aquecimento em secção de pré-condensação e pós-condensação, como está patente na Figura 6. O vapor mais limpo condensa na pré-condensação e os compostos orgânicos voláteis (e odorosos) à base de enxofre e o metanol são levados para a secção de pós-condensação com uma pequena porção de vapor. A alimentação do vapor que é feita pela cauda aumenta a eficiência da segregação pelo efeito de desabsorção em contra-corrente interna da fracção do condensado mais limpo, à medida que este desce pelas superfícies de aquecimento.

Na Tabela 1 estão os resultados da eficiência da segregação do condensado quando se usa um sistema interno de desabsorção.

**Tabela 1.** Distribuição de CQO\* nos condensados da evaporação.

	Distribuição de massa	Distribuição de CQO*
<b>Fracção de condensado limpo</b>	80% – 90%	20%
<b>Fracção de condensado sujo</b>	10% – 20%	80%

\*Carência Química de Oxigénio.



**Figura 6.** Condensação segregada num evaporador de lamelas de filme descendente.

Atendendo às propriedades do licor negro, **este tipo de equipamento é mais vantajoso do que os evaporadores tubulares (de filme descendente) ao processar licor negro com baixa tensão superficial e viscosidade elevada.**

Para a situação de formação de espuma (onde o licor tem uma tensão superficial baixa), tomando em consideração que o licor escoar pelo exterior das lamelas, existe mais espaço onde o vapor, gerado a partir do licor, possa circular, livre da espuma que se possa formar pelo processo de evaporação.

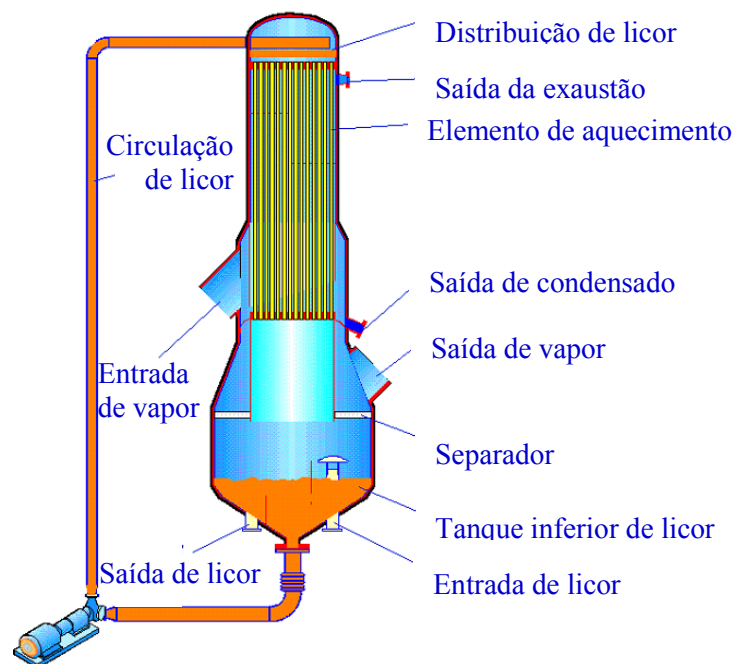
No caso da viscosidade, o desenho do equipamento permite que o licor negro possa escoar com alguma facilidade (mesmo para licores mais viscosos), dado a área

disponível para o seu escoamento ser considerável (comparativamente aos evaporadores tubulares).

A precipitação de substâncias presentes no licor negro é resolvida mais facilmente neste tipo de evaporadores do que nos tubulares, já que a lavagem deste tipo de equipamento é mais fácil do que nos evaporadores tubulares.

#### Evaporador tubular de filme descendente (*Tubular FFE*)

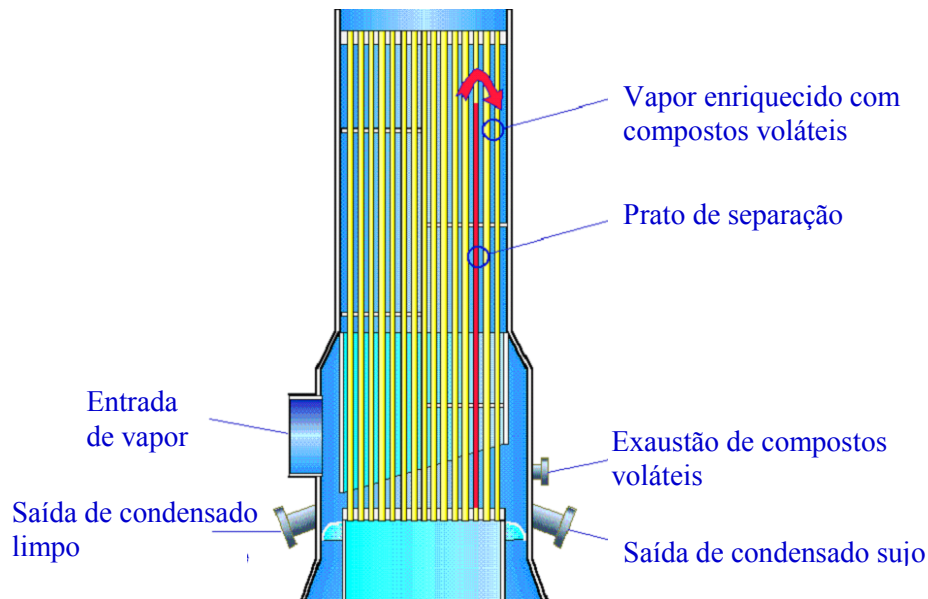
Este tipo de evaporador tem um elemento de feixe tubular e a carcaça onde se encontra o vapor. O elemento de aquecimento é muito semelhante ao do evaporador tubular de filme ascendente, consistindo numa carcaça vertical e tubos de transferência de calor, dispostos verticalmente também. O licor é bombeado para um distribuidor, que é normalmente um prato com o fundo perfurado ou um dispersor. O licor negro escoar descendentemente dentro dos tubos, principalmente devido ao efeito da gravidade, mas também pelo escoamento do vapor. Na Figura 7, está representado um evaporador de tubos de filme descendente, com licor circulado pelo interior dos tubos.



**Figura 7.** Evaporador tubular de filme descendente, com circulação de licor negro pelo interior dos tubos.

A mistura de licor negro e vapor que sai dos tubos passa por um separador na cauda do equipamento, onde se separa o vapor do licor. Outro separador faz a limpeza do vapor antes deste sair do equipamento.

A condensação segregada de condensado limpo e condensado sujo é conseguida pela divisão da carcaça em secções de pré e pós-condensação usando, um prato de separação (*baffle plate*), como representado na Figura 8.

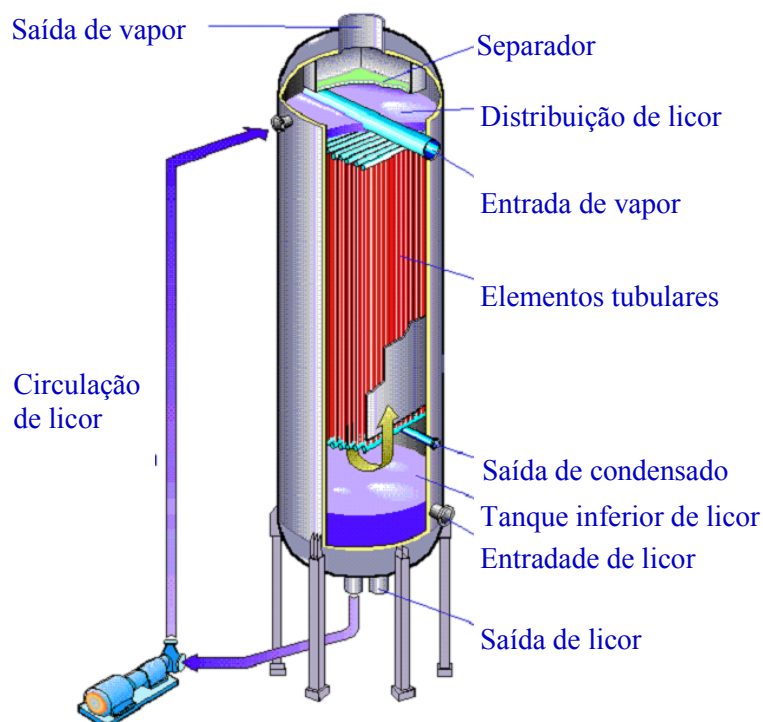


**Figura 8.** Segregação do condensado por baffling.

Uma desvantagem que este tipo de evaporador apresenta, idêntica ao evaporador tubular de filme ascendente, é devida ao seu desenho de tubos ligados a pratos perfurados, que não permite que sejam lavados sem ser por meios mecânicos de limpeza. Atendendo às propriedades do licor negro, mais especificamente à precipitação das substâncias dissolvidas, o desenho do equipamento não traz vantagens para o seu uso.

A Figura 9 mostra um evaporador tubular, do tipo FF, onde o licor negro escoar por fora dos tubos. A construção do evaporador é mais parecida com o evaporador de lamelas do que com o evaporador tubular com o licor a circular por dentro dos tubos. Os tubos estão ligados a cabeças que permitem a distribuição equitativa do licor pelo exterior dos tubos verticais, enquanto que o vapor é circulado pelo interior dos tubos. **Pelos padrões actuais de desenho e dimensionamento do equipamento, existe a desvantagem da limitação da área de secção recta disponível para o vapor. Isto inviabiliza o uso deste equipamento nos últimos efeitos devido ao insuficiente espaço para passagem do vapor.**

Em termos das propriedades químicas e físicas do licor negro, o evaporador tubular acarreta consigo, pela sua construção, problemas quando ocorre formação de espuma ou no processamento de licor negro mais viscoso. A formação de espuma é um problema menor no caso da circulação de licor negro pelo exterior dos tubos (à semelhança do evaporador de lamelas), mas o facto de ser constituído por uma série de tubos em paralelo, o espaço disponível para o vapor gerado circular acaba por ser menor do que no caso dos evaporadores de lamelas (especialmente no desenho de circulação do licor pelo interior dos tubos), tornando mais difícil a sua libertação da espuma. A área disponível em cada tubo, para escoamento do licor, acaba por ser menor do que nas superfícies das lamelas, levando a que o processamento de licores mais viscosos se torne problemático por dificuldade de escoamento destes ao longo dos tubos.



**Figura 9.** Evaporador tubular de filme descendente, com circulação de licor negro pelo exterior dos tubos.

No que toca a ambos os tipos de evaporadores, tubular e de lamelas, o BPR do licor negro é uma propriedade importante, já que, mediante o seu valor, traduz um maior ou menor gasto energético em cada evaporador. Sendo o BPR, como descrito anteriormente, intrinsecamente ligado à composição e concentração de sólidos no licor, não vai depender (teoricamente) do tipo ou arranjo dos evaporadores empregues na instalação de evaporação. **No entanto, quanto mais eficiente for a permuta de calor, mais facilmente se compensa o BPR. Para uma melhor facilidade de escoamento e aproveitamento da área de transferência de calor, como já foi referido, o evaporador de lamelas dará uma melhor resposta do que o evaporador tubular.**

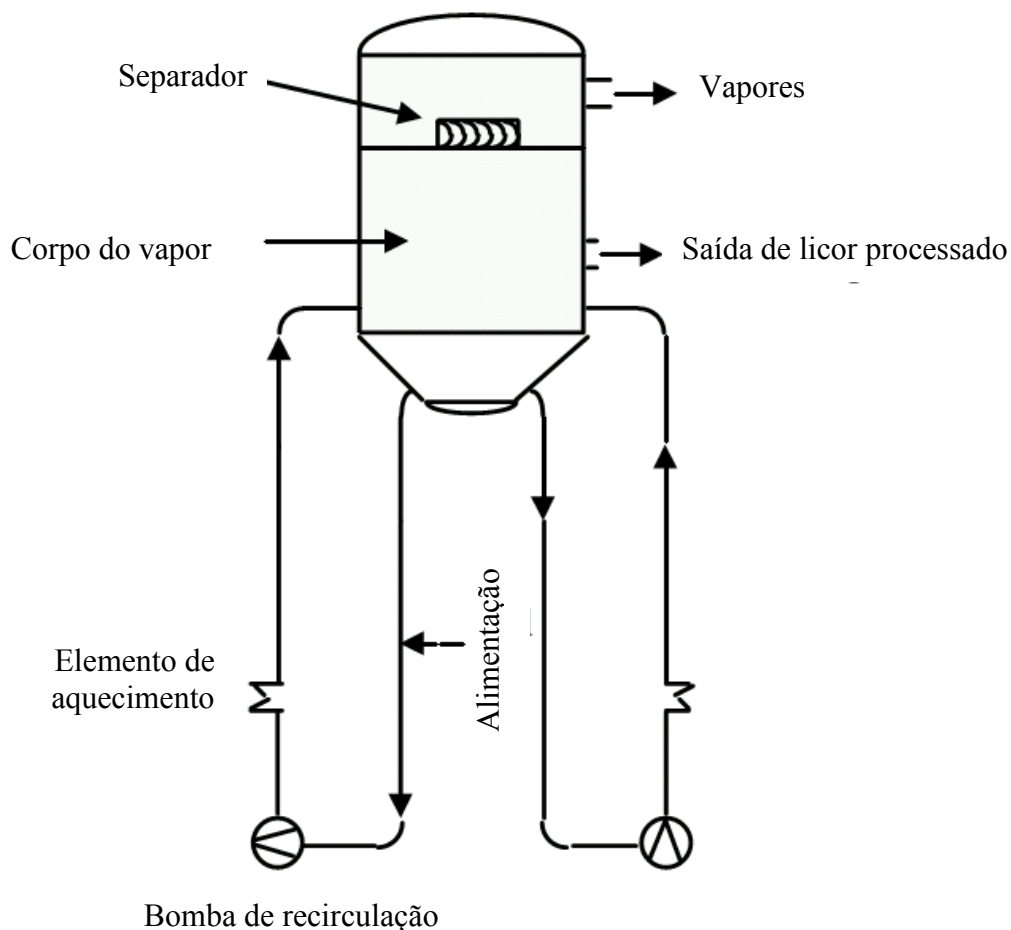
### Concentradores

A evaporação do licor negro até à sua concentração final de 70% a 85% de sólidos é feita, hoje em dia, com evaporadores de filme descendente, também denominados de concentradores, como já foi mencionado. Os mais recentes concentradores em desenvolvimento são para aplicações de vapor de média pressão, sendo do tipo de filme descendente, de lamelas e tubular com o licor a circular pelo exterior dos tubos. A principal razão para isto é a necessidade de usar vapor de média pressão nas altas concentrações finais de licor, para passar a barreira de um BPR alto e conseguir operar altas temperaturas para diminuir a viscosidade. A experiência prática é de que ambos os tipos de evaporadores são de fácil lavagem.

A prática corrente de misturar cinza da caldeira de recuperação com o licor antes da sua concentração final tem reduzido consideravelmente a contaminação das superfícies de transferência de calor. A razão prende-se com o facto dos cristais de sulfato presentes na cinza actuarem como núcleos de precipitação da *burkeite* que forma

crystalos em suspensão no licor, não aderindo às paredes e superfícies de transferência de calor.

Concentradores com circulação forçada também são utilizados para a concentração final do licor negro. Na Figura 10 está apresentada uma configuração típica com aquecedores horizontais. A corrente de licor é aquecida nestes aquecedores e depois submetida a um processo *flash* na *vapor head*.



**Figura 10.** Evaporador de circulação forçada ou evaporador cristalizador.

A ebulição é anulada no aquecedor e a *vapor head* tem um tempo de retenção grande, o suficiente para formar cristais a partir do licor super saturado. A amálgama de cristalização é recirculada com o licor que chega ao aquecedor, prevenindo a contaminação das superfícies de transferência de calor, como já foi referido anteriormente. A grandeza das taxas de circulação e tamanho dos tubos de aquecimento fazem com que o escoamento seja turbulento, no aquecedor. Este tipo de desenho de equipamento tem como desvantagem o alto consumo de energia.



#### 1.2.4. Equipamento auxiliar

Considerando os evaporadores como o equipamento principal, tudo o resto é auxiliar, com excepção de material existente numa instalação de evaporação, como tubagens, válvulas, instrumentação, equipamento eléctrico, etc, que é considerado material padrão e não é alvo de descrição detalhada.

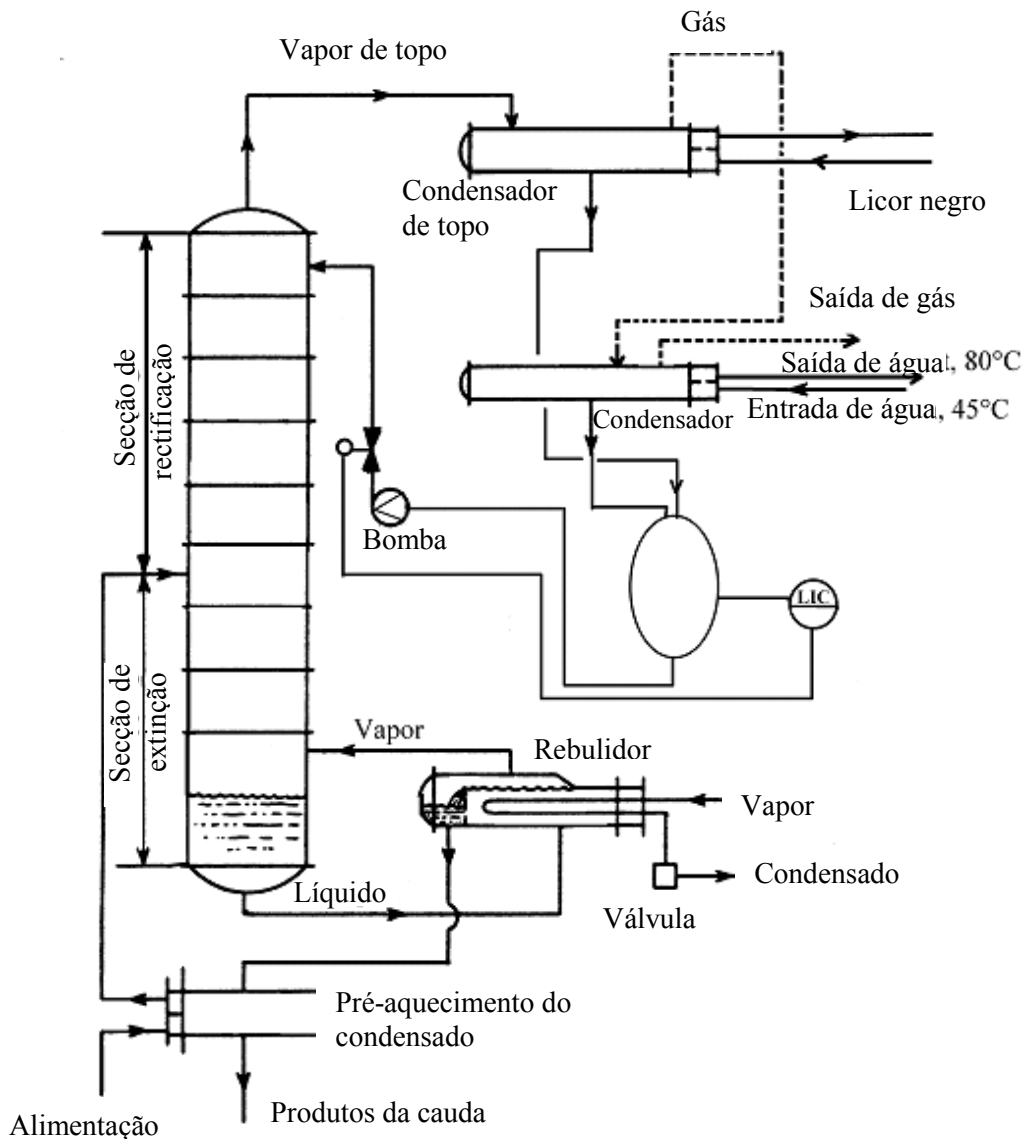
Dentro da categoria de equipamento subsidiário (tratando-se de uma pequena instalação por si só) está a coluna de desabsorção (*stripping*). A sua presença é independente do tipo de evaporadores da bateria, existindo para purificar o condensado contaminado da instalação de evaporação e da secção de cozimento. A desabsorção é um processo de transferência de massa, onde componentes voláteis gasosos, como o metanol ou compostos orgânicos à base de enxofre, se transferem da fase líquida para a fase de vapor. Na Figura 11 está presente uma coluna de *stripping* típica. A coluna é um tanque cilíndrico alto, onde o líquido escoar descendentemente por gravidade. A mistura de vapor e gases não condensáveis sobe na coluna, em contra-corrente. O processo de transferência de massa é melhorado pela presença de tabuleiros na coluna que dividem o aquecimento e a desgaseificação do licor negro em estágios. Estes tabuleiros têm válvulas (ou *bubble caps*) que dispersam o vapor e a mistura gasosa pelo líquido.

O tabuleiro onde a alimentação entra é denominado de tabuleiro de alimentação. Todos os tabuleiros acima deste constituem a secção de rectificação, e todos os que se encontram abaixo, incluindo o tabuleiro de alimentação, constituem a zona de desabsorção.

O vapor (aproximadamente 20% do caudal de licor a ser processado) ou é vapor vivo ou é proveniente de um efeito da bateria de evaporação.

O condensado já processado é retirado da coluna pela cauda e é utilizado para pré-aquecer a alimentação de condensado sujo. O vapor e outros compostos voláteis sobem pela secção de rectificação da coluna de *stripping* e condensam parcialmente num condensador existente na cabeça da coluna (no *overhead condenser*), com o objectivo final de pré-aquecer licor negro.

A taxa de purificação do condensado sujo é normalmente de 90% a 95% para o metanol e de 98% a 99% para compostos orgânicos de base de enxofre (mercaptanos).

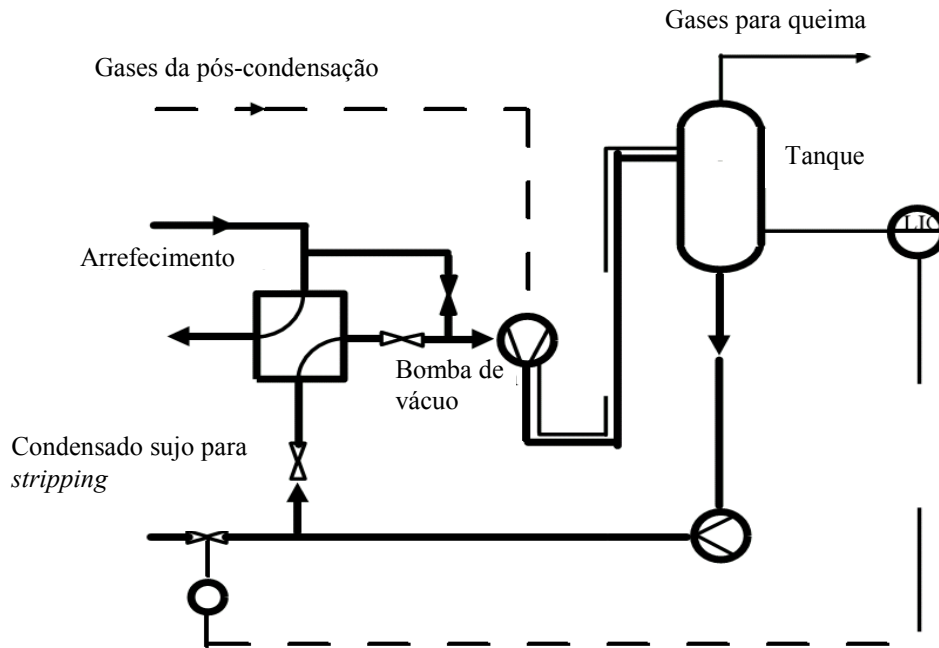


**Figura 11.** Coluna de desabsorção (stripping).

Como equipamento auxiliar, o condensador de superfície (*surface condenser*) condensa o vapor secundário do último efeito da bateria de evaporadores. A pressão neste equipamento e a pressão do vapor vivo determinam o intervalo de temperatura total existente na bateria. Os tipos de condensadores de superfície mais comuns são:

- Condensador de vapor-água, utilizando o princípio do *falling film*;
- Condensador de vapor-água, com permuta de calor em tubos;

O equipamento de vácuo (montado nos evaporadores) faz a exaustão dos gases não condensáveis dos evaporadores e do condensador de superfície. Um ejector a vapor ou uma bomba de vácuo (Figura 12) são os equipamentos de vácuo mais utilizados.



**Figura 12.** Diagrama de uma bomba de vácuo.

Outro equipamento considerado auxiliar são as câmaras *flash*. São usadas para submeter condensado ou licor negro a um processo *flash* entre estágios de evaporação. Trata-se de pequenos tanques que têm entrada e saída para condensado ou licor e uma saída para vapor. Mesmo na categoria de equipamento auxiliar, as câmaras *flash* têm um importante papel na bateria de evaporação. Contribuem com vapor, gerado no processo *flash* do licor ou condensado alimentado (dependendo da localização da câmara *flash* na bateria), para o vapor total alimentado (meio de aquecimento) ao evaporador posterior. Isto elimina a necessidade de adicionar vapor vivo a todos os evaporadores da bateria (salvo exceções, onde isto é necessário, dependendo da configuração específica de algumas instalações) para compensar as perdas (já abordadas) ao longo da área de evaporação.

A principal função dos tanques de bombagem (*pumping tanks*) para licor negro ou condensado é providenciar boas condições de operação.

As bombas são equipamentos auxiliares necessários para transporte de correntes, sejam de licor negro ou de condensado, para a bateria de evaporação, para fora da bateria e dentro dela. São normalmente bombas centrífugas de um estágio, sendo precisas bombas especiais para casos como a necessidade de vácuo, em aplicações já anteriormente mencionadas, ou para o *soap skimming*.

## 2. Dimensionamento de uma Linha de Evaporação

O dimensionamento de uma instalação de evaporação envolve vários conceitos, princípios de engenharia química e de processos unitários. É necessário:

– Definição dos objectivos a serem atingidos pela instalação e definição de condições de operação:

- Percentagem de sólidos do licor negro alimentado à evaporação;
- Percentagem de sólidos para o licor negro concentrado;
- Caudais de saída da instalação (percentagem de sólidos, temperatura, pressão, etc);
- Caudais de entrada de licor negro (percentagem de sólidos, temperatura, pressão, etc);
- Pressão (ou temperatura) do vapor vivo disponível;

– Colecção de dados relativos ao vapor vivo, vapor secundário, licor negro diluído e concentrado;

– Balanços materiais aos evaporadores (considerando uma bateria de 7 efeitos);

- Balanço global:  $L_0 = L_1 + V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + V_6$  (Eq.1)
- Balanço a cada evaporador (em relação ao licor):  $L_{i-1}X_{i-1} = L_iX_i$  (Eq.2)
- Balanço a cada evaporador (em relação ao condensado):

$$C_i = V_{i-1} + \frac{C_{i-1}(H_{C,i-1} - H_{C,i})}{(H_{V,i-1} - H_{C,i})}, \text{ onde } C_1 = V_0. \quad (\text{Eq.3})$$

– Balanços energéticos aos evaporadores (considerando uma bateria de 7 efeitos);

- Balanço ao primeiro efeito (é alimentado por vapor vivo):  
 $V_0h_{V0} + L_2h_{L2} = V_1H_{V1} + L_1h_{L1} + C_1H_{C1}$  (Eq.4)
- Balanço a cada evaporador (baseado no diagrama do ponto 3):

$$\text{EFEITO 2: } V_1H_{V1} + L_3h_{L3} + C_1(H_{C1} - H_{C2}) = V_2H_{V2} + L_2h_{L2} + C_2H_{C2} \quad (\text{Eq.5})$$

$$\text{EFEITO 3: } V_2H_{V2} + L_4h_{L4} + C_2(H_{C2} - H_{C3}) = V_3H_{V3} + L_3h_{L3} + C_3H_{C3} \quad (\text{Eq.6})$$

$$\text{EFEITO 4: } V_3H_{V3} + L_5h_{L5} + C_3(H_{C3} - H_{C4}) = V_4H_{V4} + L_4h_{L4} + C_4H_{C4} \quad (\text{Eq.7})$$

$$\text{EFEITO 5: } V_4H_{V4} + L_6h_{L6} + C_4(H_{C4} - H_{C5}) = V_5H_{V5} + L_5h_{L5} + C_5H_{C5} \quad (\text{Eq.8})$$

$$\text{EFEITO 6: } V_5H_{V5} + L_0h_{L0} + C_5(H_{C5} - H_{C6}) = V_6H_{V6} + L_6h_{L6} + C_6H_{C6} \quad (\text{Eq.9})$$

$$\text{EFEITO 7: } V_6H_{V6} + L_0h_{L0} + C_6(H_{C6} - H_{C7}) = V_7H_{V7} + L_7h_{L7} + C_7H_{C7} \quad (\text{Eq.10})$$

– Equações de transferência de calor e de cálculo de grandezas energéticas (temperatura, BPR, coeficientes de transferência de massa, etc);

## 2.1. Metodologia de Cálculo para Bateria de Evaporadores

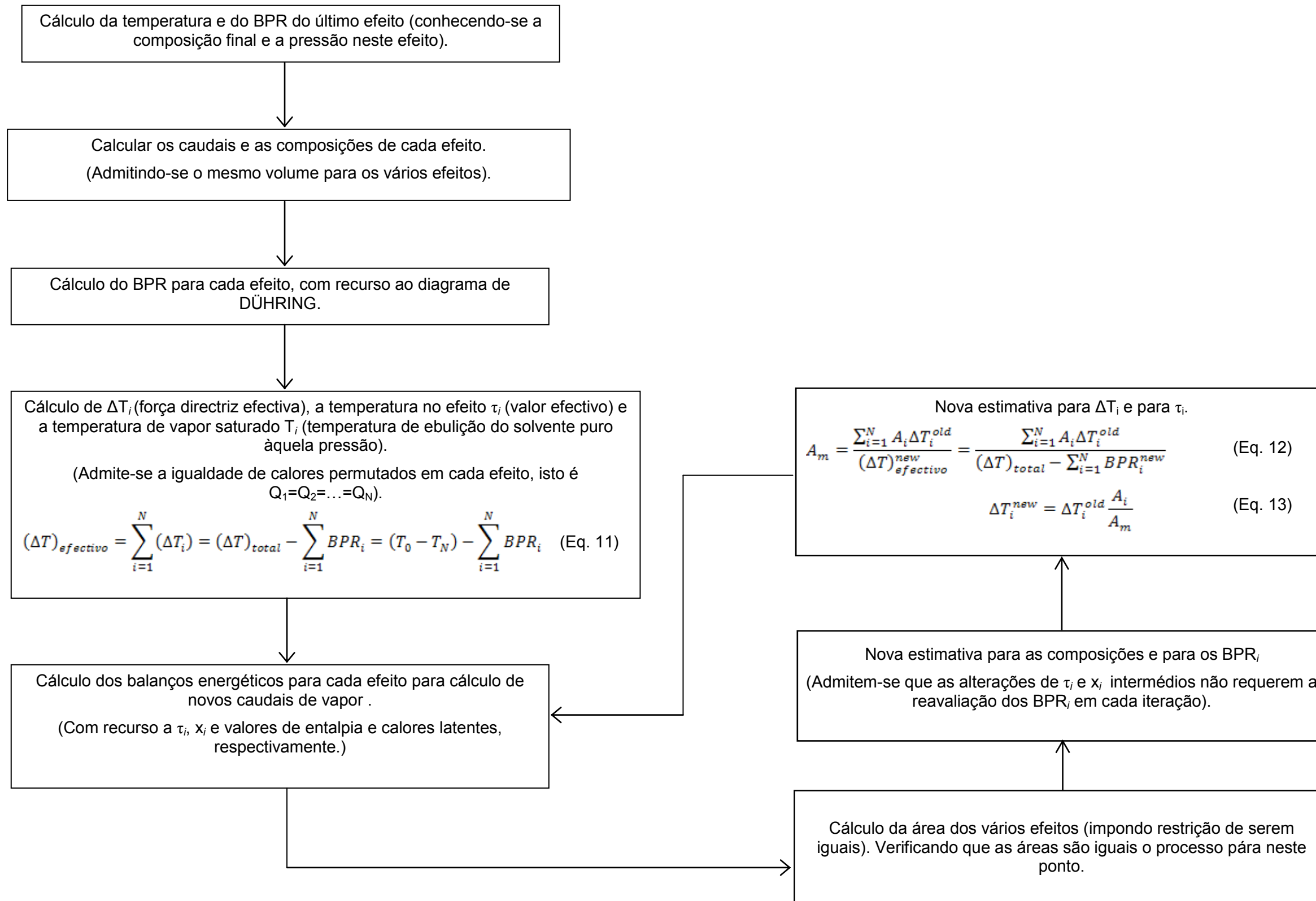


Figura 13. Metodologia de Cálculo para um Bateria de Evaporação

## 2.2. Opções Processuais

A prática corrente em relação aos equipamentos para a construção de uma instalação de evaporação é de escolha entre dois tipos de evaporadores: lamelas ou tubular (considerando-se este último de filme descendente). Outro factor importante, a nível de económico, é a instalação de evaporação ser menos dispendiosa se os vários evaporadores forem do mesmo tamanho (mesma área de permuta de calor).

Tomando em consideração quer a matéria processada na área de evaporação, o licor negro, a nível das suas propriedades, que os equipamentos disponíveis, uma opção processual que se impõe é a não utilização de evaporadores tubulares (FF com circulação do licor pelo exterior dos tubos) para o último efeito, devido à falta de espaço para acomodar o vapor gerado.

A nível de manutenção do equipamento, os evaporadores de lamelas são preferíveis já que permitem, de uma forma mais fácil face aos evaporadores tubulares, a sua manutenção em caso de avaria e a sua lavagem (evitando possíveis avarias, mais frequentes).

A nível de funcionamento, os evaporadores de lamelas conseguem dar melhor resposta operacional a problemas que dificultem a transferência de calor, como licores mais viscosos ou densos, ou o escoamento de produtos da evaporação, como o caso de grandes quantidades de vapor gerado do licor negro em evaporadores tubulares, com o licor a circular pelo interior dos tubos, no caso da formação de espuma. No caso de evaporadores de lamelas, a sua construção e configuração permite lidar melhor com estes problemas.

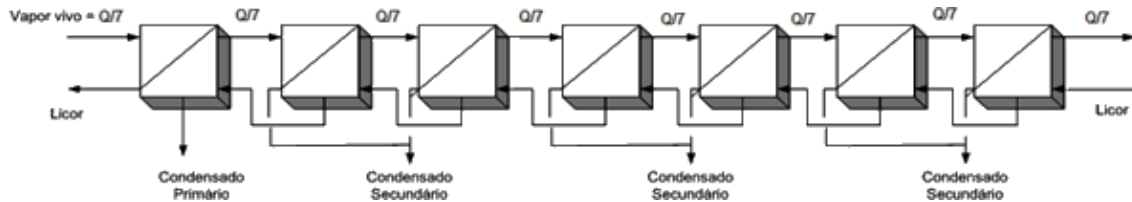
Tendo em conta que o concentrador não difere dos restantes efeitos da bateria a nível de desenho, a opção mais comum é uma bateria com 5 a 7 efeitos constituída por evaporadores de lamelas (FF).

Outras possibilidades são uma bateria com o mesmo número de estágios (5 a 7), mas constituída por evaporadores tubulares (com circulação do licor pelo exterior dos tubos, devido ao último efeito) ou uma bateria semelhante à anteriormente descrita mas com a possibilidade do concentrador ser um evaporador de lamelas.

As opções processuais estão sempre condicionadas por três factores fundamentais: custos de investimentos, custos de manutenção e eficiência energética. O principal indicador da eficiência é a economia do processo, que se define como a quantidade de água evaporada por unidade (kg ou ton) de vapor vivo.

### 3. Diagrama da Instalação

A instalação de evaporação em consideração [2] é uma unidade de 7 estágios de evaporação. A Figura 14 tem um esquema simplificado (não apresenta equipamento auxiliar), com as correntes principais: vapor vivo, vapor secundário, licor negro, condensado primário e condensados secundários.



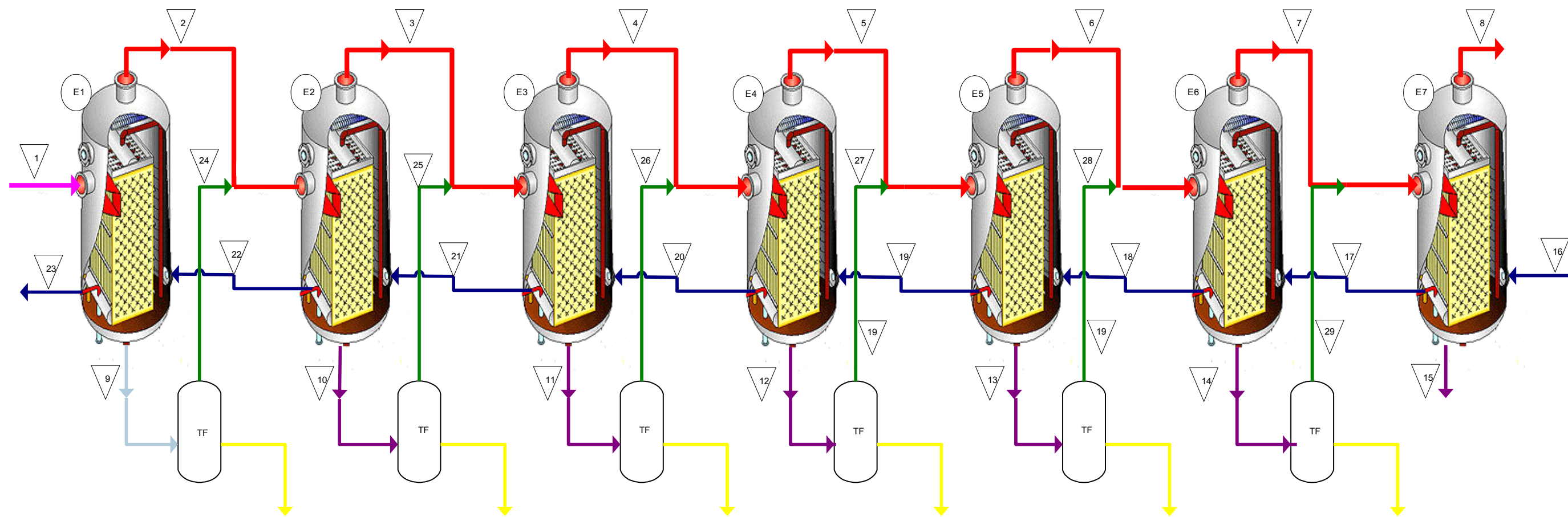
**Figura 14.** Esquema de uma instalação de evaporação de sete efeitos.

Na Figura 15, está presente um diagrama, similar ao da Figura 14, mas com equipamento auxiliar, mais especificamente, câmaras *flash*. A apresentação, somente, deste equipamento auxiliar prende-se com o facto de que os tanques *flash* influenciarem bastante os requisitos energéticos, que estão intrinsecamente ligados aos balanços energéticos, necessários para o dimensionamento da bateria. Por outro lado, outro tipo de equipamentos encontram-se já associados ao próprio equipamento de evaporação, não sendo necessária a sua descrição extra.

As câmaras *flash* introduzem vapor nas correntes de vapor secundário que existem para aquecimento de todos os efeitos de evaporação a partir do 2º estágio.

Como já foi descrito anteriormente, o vapor vivo é alimentado somente ao primeiro efeito. Do segundo ou último efeito (7º), o aquecimento é feito por meio de vapor secundário. O vapor que aquece um dado estágio acaba por ser a junção do vapor secundário proveniente do efeito anterior com o vapor cedido pelo tanque *flash*.

À excepção do primeiro efeito, nos restantes recupera-se o condensado secundário, aumentando a sua concentração em contaminantes à medida que se chega ao fim da bateria. No primeiro efeito, recolhe-se o condensado primário, o condensado limpo recolhido de uma bateria de evaporação, que é devolvido à central geradora de vapor.



Legenda:

<span style="color: blue;">—</span>	Licor
<span style="color: lightblue;">—</span>	Condensado primário
<span style="color: red;">—</span>	Vapor
<span style="color: purple;">—</span>	Condensado
<span style="color: yellow;">—</span>	Condensado Flash
<span style="color: green;">—</span>	Vapor Flash
<span style="color: magenta;">—</span>	Vapor Vivo

Figura 15. Diagrama de uma instalação de evaporação de sete efeitos.



#### 4. Análise Económica

A produção projectada para a pasta branqueada é de 400mil tad/ano, e é com base neste valor que é feita a compra da bateria, com capacidade de processamento do licor negro gerado nesta produção. Assume-se como factor de projecto 15%.

Esta análise assenta só numa estimativa para evaporadores de lamelas, por indisponibilidade de dados referentes a outros tipos de evaporadores.

A base para a análise económica de é uma estimativa global para uma bateria de 7 efeitos instalada de, aproximadamente 26,7M€[2], referida a 2003.

Ao valor de 26,7M€ foi acrescentado o valor da taxa de inflação de 2,3%[6] para 2003, 2,4%[6] para 2004, 2,3%[6] para 2005, 2,6%[6] para 2006 e 2,3%[6] para 2007. Os valores apresentados são valores médios anuais.

O valor estimado é de 30 milhões de euros, para a bateria de evaporação representada na Figura 15. Após consulta na banca, foi possível obter a informação presente na Tabela 2. Foi considerado um Valor Residual de 2% e uma entrada inicial de 1%.

**Tabela 2.** Simulação de Rendas de Leasing Mobiliário, para uma Instalação de Evaporação.

Capital:	30M€
Valor Inicial:	300*
Valor Residual:	600*
Prazo de Operação (meses):	120
Tipo de Renda (meses):	Antecipada
Valor da Renda:	286,42*
Número de Rendas:	119

\*Em milhares de euros

Também foi feito um pedido para um único evaporador, fazendo-se uma estimativa de custo de 4,5 milhões de euros. A simulação feita na instituição bancária está presente na Tabela 3. A entrada inicial e o Valor Residual mantêm-se, de 1% e 2%, respectivamente.

Para ambos as simulações, considera-se um período de amortização de 10 anos, a 10% de amortização anual durante esse período.

**Tabela 3.** Simulação de Rendas de Leasing Mobiliário, para um Equipamento de Evaporação.

Capital:	4,5M€
Valor Inicial:	45*
Valor Residual:	90*
Prazo de Operação (meses):	120
Tipo de Renda (meses):	Antecipada
Valor da Renda:	46,98*
Número de Rendas:	119

\*Em milhares de euros

No entanto, a análise económica de um investimento requer que outros aspectos se tenham em conta, para além do capital necessário, para determinar se um investimento é ou não viável. Para este efeito, são feitas previsões dos lucros e custos associados ao projecto e calculados vários indicadores de viabilidade, como a Taxa Interna de Retorno (T.I.R.), Valor Actual Líquido (V.A.L.) e o *Payback Period* (Prazo de Recuperação de Investimentos).

O *payback*[4] é o número mínimo de anos (teoricamente) que são necessários para que o lucro obtido pague o investimento feito, contabilizando um aspecto inerente a qualquer equipamento, que é a sua depreciação. Sem incluir taxas de juros, define-se como:

$$payback(\text{anos}) = \frac{\text{investimento de capital}}{\frac{\text{lucro}_{\text{médio}}}{\text{ano}} + \frac{\text{depreciação}_{\text{média}}}{\text{ano}}} \quad (\text{Eq.13})$$

Quando o lucro somado com a depreciação consegue igualar o investimento, conseguimos ter um *payback* de um ano. Para um lucro grande (superior ao investimento e à depreciação em conjunto) é possível ter um *payback* inferior a um ano. Para estes dois casos, o investimento deve ser feito, já que o lucro médio anual obtido assim o permite.

Como o *payback* é um indicador temporal, ao ser feito um cálculo preliminar deste e for obtido um valor superior a um ano, este já não deve ser um indicador a ser observado para avaliação do investimento, mas sim a T.I.R..

A T.I.R.[4] indica (com estimativa) se mediante um dado lucro de retorno é viável ou não fazer um investimento, definindo-se como o rácio entre o lucro (total) médio anual e o capital total investido. Outra forma de exprimir este indicador é dizer que representa uma taxa que é utilizada como taxa de desconto, que torna o V.A.L. nulo.

O V.A.L.[4] é utilizado para avaliar a viabilidade de um projecto de investimento pelo cálculo do valor actual de todos os saldos entre entradas e saídas de capital de uma empresa (saldos estes também denominado de *cash flows*). Este indicador baseia-se em saber no presente o valor de um montante que se pretende obter no futuro. Tendo em conta que qualquer investimento só produz fluxo de capitais (*cash flows*) no futuro, é necessária a actualização de cada um dos fluxos para comparação com o valor do investimento. No caso de se obter um valor actual dos *cash flows* superior ao valor do investimento, o indicador V.A.L. é positivo, o que significa que o investimento é rentável. A actualização dos *cash flows* implica a utilização de uma taxa denominada de taxa de desconto. Esta taxa é uma taxa de juros acrescida de um prémio de risco, previamente estabelecido, atendendo ao tipo de projecto de investimento em causa.

É impossível prever com rigor os lucros de uma indústria, existindo sempre factores que a influenciam economicamente, não sendo possível prever se um dado lucro permite um qualquer investimento. Para avaliação da viabilidade, é necessário conhecer a rentabilidade do investimento. Partindo deste dado, o investimento aceita-se para uma T.I.R. superior ao financiamento requerido.

Um factor de importância na análise económica a ter em conta é a depreciação do equipamento[4]. Esta pode ser física ou funcional. No primeiro caso, trata-se de problemas como o desgaste, corrosão, deterioração, avarias, envelhecimento, etc. No segundo caso, trata-se, no caso mais comum, da obsolescência do equipamento, podendo este ser ultrapassado por desenvolvimentos tecnológicos (mesmo estando em boas condições físicas). A depreciação mede o decréscimo de valor do equipamento, onde para a sua avaliação, tanto perdas físicas (mais fáceis de avaliar) como perdas funcionais têm de ser tomadas em consideração.

Relacionado com a depreciação, está o tempo útil do equipamento, isto é, é necessário fazer uma estimativa (normalmente em anos) da sua durabilidade e funcionalidade. Para equipamento do tipo evaporadores, o seu tempo útil (ou tempo de vida útil) é de 10 anos[4]. O valor de abate (*salvage value*) também está relacionado com a depreciação do equipamento. Esta informação indica o valor total possível de obter com a venda do equipamento usado, já com todas as despesas que possam estar inerentes à venda incluídas.

O método de cálculo da depreciação utilizado é o Método Linear[4], que se baseia numa relação linear decrescente entre o valor do equipamento e o tempo.

$$d = \frac{V_{mit} - V_s}{n} \quad (\text{Eq.14})$$

Não existindo informação disponível sobre o valor de abate para equipamento de evaporação e assumindo que a sua venda não se designa a reaproveitamento do equipamento (situação que normalmente some o valor de abate) e o valor do material que constitui o equipamento é bastante inferior ao do preço do equipamento, considera-se  $V_s=0\text{€}$ .

$$d = \frac{30}{10} = 3M\text{€}/ano$$

## 5. Bibliografia

[1]. Gullichsen, J., Fogelholm, C. J., **Chemical Pulping**, Book 6B, Fapet Oy, 1999;

[2]. Fidalgo et al, **Estudo de Pré-viabilidade de Ampliação e Modernização de uma Unidade Industrial de Pasta para Papel – Lavagem, Crivagem e Depuração, e Evaporação**, Grupo 4, 2003;

[3]. Smook, G. A., **Handbook for Pulp and Paper Technologists**, Tappi Press, Canada, 1997;

[4]. Peter, Max S.; Timmerhaus, Klaus D.; **Plant Desing and Economics for Chemical Engineers**, 3ª ed., McGraw-Hill Book Company, USA, 1980;

[5]. Andritz AG; Sítio: <http://www.andritz.com/>;

[6]. Instituto Nacional de Estatística; Sítio: <http://www.ine.pt/>;

## 6. Anexo



**Figura A - 1.** Imagem do e-mail enviado à Exporatlas.

(Deste contacto não foi obtida qualquer resposta.)