

# PERDAS DE MATÉRIA-PRIMA: UM ESTUDO DE CASO NA INDÚSTRIA DE ÓLEO DE SOJA

*Édio Patric Guarienti<sup>1</sup>*

*Elisângela Pinheiro<sup>2</sup>*

*Leoni Pentiado Godoy<sup>3</sup>*

*Mário Luiz Santos Evangelista<sup>4</sup>*

*Adalberto Lovato<sup>5</sup>*

**Resumo:** Neste artigo analisa-se as causas potenciais de perdas de solvente hexano em uma indústria de óleo de soja localizada no sul do Brasil para reduzir os custos de produção. Para tal levantamento, utilizou-se de abordagem indutiva, tendo como procedimento a pesquisa bibliográfica e de laboratório com análises flash test e medições com detector multigases MSA. Foram analisadas as possíveis perdas de hexano no farelo, na água, no ar e por deficiência na operação de equipamentos e processos. Identificou-se que mais de 50% dos registros com perda significativa de solvente foram causados por paradas da fábrica em virtude de manutenções entre o extrator e o dessolventizador-tostador. Detectou-se também a ocorrência de perdas de solvente no descarte de água e em vazamentos nas estruturas dos equipamentos da extração.

**Palavras-chave:** Perdas de solvente; Extração de óleo; Processos; Manutenção de Equipamentos.

**Abstract:** This paper reports a comprehensive study of potential causes of hexane losses occurring in an extraction plant located in south of Brazil to reduce a production costs. After an extensive bibliographical research, measurements were made at several points troth directly on extraction processes and in the following complex processes of separating solvent from oil. Multigas detector MSA was used in field measurement and flash test was the most common way to detect hexane in laboratory analysis. Measurements were made in soybean meal, water of heat exchangers, air in chimneys and some often parts of the soybean meal processes. Observed results point, to check on that more than half of losses were caused by stops in the continuous processes due to machine and equipment break down. These losses occurred mainly in the extractor and dessolventizer-toaster process. Other significant losses were detected in discarded water of the heat-exchangers and leaks in extraction equipment.

**Keywords:** Solvent Losses; Oil Extraction; Processes; Equipments Maintenance.

---

<sup>1</sup> Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, edioguarienti@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, elisangela.pinheiro@ymail.com

<sup>3</sup> Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, leoni\_godoy@yahoo.com.br

<sup>4</sup> Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, mario.evangelista@terra.com.br

<sup>5</sup> Sociedade Educacional Três de Maio – SETREM, proflovato@terra.com.br

## 1. INTRODUÇÃO

Um processo industrial, em qualquer que seja o campo de atuação, deve ser eficiente o suficiente para gerar um produto que atenda a demanda de seu mercado, com um custo competitivo e sustentável ao longo do tempo. (JÚNIOR, 2009 p.16).

Na extração de óleo de soja não é diferente, a industrialização de oleaginosas, da empresa estudada utiliza o método de extração por solvente, onde segundo Custódio (2003), tem demonstrado ser o modo mais eficiente. O sucesso do processo a solvente está em sua capacidade de reduzir a níveis satisfatoriamente baixos, o resíduo de óleo presente em materiais oleaginosos.

Porém, o solvente que se estabeleceu desde início foi à fração de hexano de petróleo, que tem como desvantagens vir de uma fonte não renovável de matéria-prima, além de trazer consigo alguns infortúnios como estar atrelado ao mercado do petróleo, ser tóxico e altamente inflamável (PETROBRÁS, 2011; OSHA, 2011).

Por possuir características prejudiciais para o meio ambiente e principalmente por onerar muito a extração de óleo de soja, há a necessidade de evitar o desperdício. Paraíso, Andrade e Zemp (2005) comentam que uma estratégia importante para reduzir custos e proteger a saúde do meio ambiente e consumidor é procurar, nas indústrias já instaladas, estabelecer as melhores condições possíveis de operação do seu processo produtivo. Tais condições tendem a propiciar um consumo menor de energia, além de alavancar o processo de recuperação de hexano na planta de extração.

Paraíso (2001) ainda afirma que durante os primeiros anos de extração, considerava-se como eficiente uma recuperação de 99,27% do solvente bombeado para o extrator de óleo de soja, ou seja, 4 litros de solvente se perdiam para cada tonelada de soja que era processada. A partir dos anos 70, com o advento de novas tecnologias e implantação de indústrias maiores, conseguiu-se obter faixas de recuperação de solvente ao redor de 99,86%, cerca de 2 litros de perda por tonelada de soja processada. Tal índice se manteve como bom até meados dos anos 80 quando as

indústrias começaram a instalar modernos des-solventizadores-tostadores utilizando destilação completa por arraste de vapor a contracorrente. Com as melhorias implantadas, os novos índices de eficiência caíram para aproximadamente 1 litro de perda de solvente por tonelada de soja processada, ou seja, uma recuperação 99,92% do solvente posto na produção.

Para se reduzir as perdas do solvente hexano há a necessidade de inspecionar cuidadosamente todos os processos que consomem muita energia e envolvem a manipulação intensa desse solvente, como nas operações de extração por solvente no extrator, na destilação da micela e na dessolventização-tostagem do farelo (PARAISO, 2001; CARRÍN e. CRAPISTE, 2008; VALDUGA et al, 2011).

Com base nessas considerações, este estudo versa sobre as perdas de matéria-prima, mais especificamente de solvente hexano, na produção de óleo de soja em uma indústria com capacidade instalada de esmagamento de 1.000 toneladas por dia.

Desta forma este trabalho visa responder, principalmente, a seguinte questão: “quais fatores podem interferir no consumo de solvente hexano na extração de óleo de soja?” A importância deste estudo revela-se na grande necessidade que as empresas possuem, de forma especial a indústria estudada, de reduzir seus custos de produção para se manter competitivos no mercado.

Assim, tem-se como objetivo principal analisar o processo de extração de óleo de soja visando reduzir o custo no uso de solvente hexano. Para tanto, traça-se três objetivos secundários: a) analisar os métodos e equipamentos utilizados na extração de óleo de soja; b) identificar as causas das perdas de solvente; c) mensurar o grau de significância que representa o desperdício de solvente.

## 2. PRODUÇÃO DE ÓLEO DE SOJA

A obtenção do óleo de soja e composta basicamente por etapas de recebimento e armazenamento da matéria-prima, preparação e extração do óleo contido no grão (Figura 1).

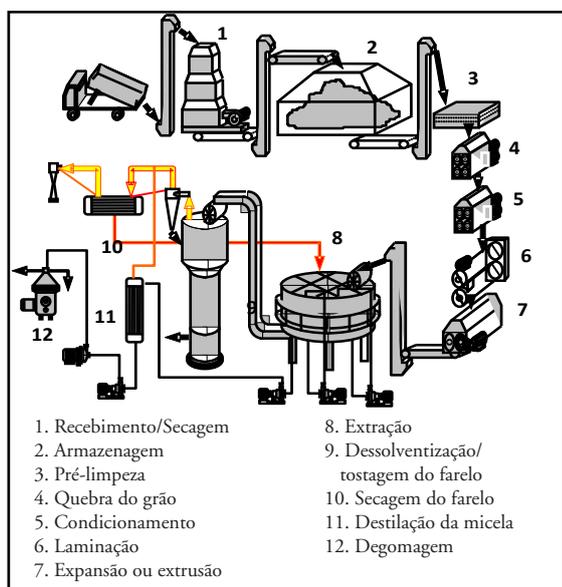


Figura 1. Esquema geral da obtenção de óleo bruto de soja. Fonte: Adaptado de Dorsa (1988)

## 2.1 RECEBIMENTO E ARMAZENAGEM DA MATÉRIA-PRIMA

A matéria-prima (soja) é recebida na unidade industrial onde são feitas pesagens em balanças mecânicas ou eletrônicas capazes de registrar e gerar relatórios personalizados do fluxo de entrada e eficiência da produção. Para Amaral, Jaigobind e Jaigobind (2006); Guarienti e Lovato (2009), a soja recebida como matéria-prima nas unidades industriais é classificada conforme padrões de umidade, impurezas, percentual de grãos quebrados e outros. Feita a secagem e a limpeza, os grãos são encaminhados para o armazenamento que deve ser efetuado em baixa umidade, em torno de 12,5%, pois diminui a atividade enzimática e o crescimento de microfloras de fungos e bactérias.

## 2.2 PREPARAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

A preparação é uma fase intermediária entre o armazenamento e a extração do óleo de soja. Nesta etapa o grão é preparado para aumentar a capacidade de extração antes de serem processados e abrange os processos de descascamento, trituração, condicionamento e expansão ou extrusão do grão de soja que são descritos a seguir.

### 2.2.1 Descascamento

É o processo de retirada da camada superior do grão de soja realizado com o auxílio de equipamentos tais como, rolos estriados horizontais,

girando com velocidade diferente e em sentidos contrário, ou ainda, em aparelhos com discos verticais, descortidores de barras e outros. Tem por objetivos, aumentar a capacidade de extração, pois as cascas possuem muito pouco óleo, reduzir o óleo retido no farelo, que são as perdas de óleo no extrator e controlar o teor de fibras do farelo, pois as cascas são ricas em fibra e podem ser adicionadas posteriormente no farelo, tendo um lucro maior.

### 2.2.2 Trituração

Objetiva reduzir o tamanho do grão para que a matéria-prima possa ser laminada. Para Amaral, Jaigobind e Jaigobind (2006), a trituração facilita o rompimento do tecido das paredes das células e diminui a distância entre o centro do grão e sua superfície, possibilitando o aumento da superfície de saída do óleo.

### 2.2.3 Cozimento ou condicionamento

É a etapa que precede a laminação onde é injetado vapor direto de modo a se aumentar de forma conjunta a umidade e a temperatura dos grãos. Thomas (2003) descreve que o cozimento tem por finalidade dar à matéria-prima certa plasticidade do material, ajustando a umidade para a formação de flocos de resistência mecânica apropriada. Serve também para provocar a liberação de óleo na matéria-prima e possibilitar a coagulação de certos componentes protéicos que são solúveis no óleo.

### 2.2.4 Laminação

A laminação é um processo onde o material sólido passa entre cilindros lisos que funcionam em rotações diferentes e sentidos opostos que rompem e distorcem as células. Para Custódio (2003), esta etapa desempenha a função de aumentar a superfície de contato entre o sólido e o solvente melhorando simultaneamente a permeabilidade no interior das partículas sólidas e a percolação do solvente num meio onde é formado por camadas de flocos.

### 2.2.5 Expansão ou extrusão

Etapa, segundo Lopes (2008), onde as partículas após as etapas de condicionamento e laminação são comprimidas em uma extrusora a temperaturas bem superiores à do ponto de ebulição da água. Ao atingir a saída do expensor, que

está ao nível da pressão atmosférica, o vapor de água expande-se, modificando as propriedades do material de estrudado. Esta expansão resulta em um acréscimo de densidade em relação o material laminado, uma melhor drenagem do material sólido ao final das extração e menor arraste de solvente pelos sólidos.

### 2.3 Extração do Óleo Bruto e Recuperação do Solvente

Nesta etapa, os flocos provenientes da preparação são colocados em um equipamento denominado de extrator juntamente com solvente para a separação do óleo. Os flocos são banhados sucessivas vezes com hexano, solubilizando o óleo presente e arrastando-o para fora do material sólido. Desta etapa resultam dois sub-produtos, a torta ou lex que é a mistura de farelo de soja, hexano, água e óleo residual e a micela que é a combinação do óleo de soja com o hexano (PARAISO, ANDRADE e ZEMP, 2003).

A micela segundo Oetterer, d'Arce e Spoto (2006), é destilada, ou seja, é aquecida sob vácuo e posteriormente realizada a evaporação do solvente. Durante este processo, o óleo é exposto a temperaturas mais elevadas, e a medida que vai aquecendo, vai volatilizando o solvente residual. O óleo bruto recuperado e dessolventizado segue para o tanque de depósito e os vapores de solvente são condensados, separados da água via decantação, aquecidos e enviados novamente para o processo de extração. Já o lex é aquecido em um equipamento chamado dessolventizador/tostador onde é aquecido e evaporado o hexano. O farelo aquecido e tostado resultante desta etapa é seco e beneficiado para a comercialização, enquanto que o hexano evaporado é reaproveitado na destilação da micela.

### 2.4 HEXANO NÃO RECUPERADO NO PROCESSO: CONSEQUÊNCIAS PARA A SAÚDE E O MEIO AMBIENTE

O óleo de soja é solúvel em solventes apolares. Vários solventes já foram testados para a extração de óleo de soja, mas o mais utilizado nas indústrias brasileiras ainda é o hexano. O hexano mistura-se com o ar, é levado pela água e infiltra-se no solo, sendo que isso pode ocorrer tanto durante sua fabricação, quanto na sua utilização. Quanto a segurança é altamente inflamável e re-

age rápido com materiais oxidantes. A evaporação do hexano reduz a concentração de oxigênio tornando o ambiente asfixiante e explosivo. Além disso, prejudica a utilização de água quando contaminada pelo produto, podendo causar danos à fauna e flora (PETROBRAS, 2011).

O produto derramado sobre o solo, poderá em parte ser evaporado, outra ser degradado biologicamente e além disso, contaminar o lençol freático limitando desta forma seu uso.

A queima do produto libera gases tóxicos e em temperaturas muito elevadas, superiores a 50°C, pode ocorrer explosão. O hexano é prejudicial a saúde do trabalhador, sendo que, a inalação pode causar irritação do trato respiratório e em alguns casos inconsciência e parada respiratória além de risco de pneumonite química e edema pulmonar. Exposição crônica na pele pode causar ressecamento, fissuras, queimaduras ou até dermatites.

A imagem da empresa associada a preservação do meio ambiente tornou-se uma necessidade devido ao grau de exigência do mercado estar crescendo em relação a aceitação de produtos ambientalmente corretos e as restrições, principalmente internacionais, impostas às empresas poluidoras. A certificação ISO 14000 passou a ser encarada como um passaporte para as exportações a mercados mais exigentes.

Quanto às punições por crime ambiental e danos a saúde humana pode-se citar a Política Nacional do Meio Ambiente (BR), Lei Nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 que descreve em seus artigos, por exemplo, 33, 54 e 56. As penas podem variar conforme o caso, partindo de prestação de serviços a comunidade nas situações de menor impacto a penas de detenção de seis meses a 5 anos em média e multa. Para todas as situações citadas as penas podem ser aumentadas conforme a gravidade e a ocorrência.

## 3. METODOLOGIA

O presente estudo é de caráter investigativo e exploratório fazendo-se uso da abordagem indutiva, através da avaliação de equipamentos e processos individuais para se obter respostas do desempenho global da indústria em relação a perdas de solvente.

Os procedimentos utilizados objetivaram a descrição e a análise dos fatores de perdas poten-

ciais de solvente hexano na extração de óleo de soja. Para tanto utilizou-se a pesquisa bibliográfica em livros, dissertações, teses e material disponível em meio eletrônico referente ao assunto e a pesquisa de laboratório sendo:

- a) Verificação da presença de gases de hexano com o aparelho detector multigases marca Solaris da empresa MSA, munido de calibragem automática em tubo composto de metano, monóxido de carbono, gás sulfídrico e oxigênio.
- b) Realização de verificação de presença de hexano na água e no farelo através do método de análise *flash test* em nível de laboratório incorrendo de duas repetições quando der resultado negativo e três repetições quando partir de um resultado negativo na primeira amostra.

Para a execução do *Flash test* procedeu-se da seguinte maneira:

- *Flash test* em líquido: coleta de 200 ml de vapor condensado em estado líquido, em um recipiente de vidro com tampa para posterior fechamento. Repouso da solução por cerca de 30 minutos. Abertura da tampa e colocação de fonte de chama (fósforo aceso) dentro do recipiente.

- *Flash test* em farelo: coleta de 1 kg de farelo em um recipiente plástico com tampa para posterior fechamento. Repouso da amostra por cerca de 30 minutos. Abertura da tampa e colocação de fonte de chama (fósforo aceso) dentro do recipiente.

Para ambos os testes se houver um aumento da chama acesa, conclui-se que existe a presença de vapores de hexano.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 EVOLUÇÃO DA PERDA DE HEXANO NA INDÚSTRIA

Os custos com energia e matéria-prima em uma indústria de esmagamento de soja geralmente são altos. Para a empresa estudada, não é diferente. Ao se analisar a Figura 2, percebe-se que os custos totais com aquisição de solvente hexano ocuparam a 6ª posição no ano de 2008 e ultrapassaram a casa de um milhão de reais.

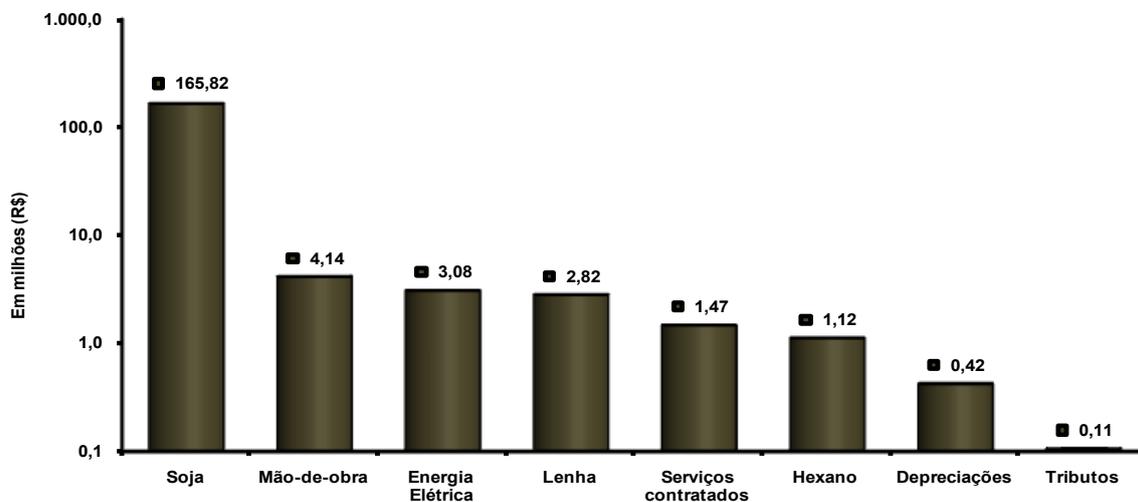


Figura 2. Principais custos da indústria

Ao fazer um comparativo com o consumo ideal considerado na empresa e o que foi consumido de hexano no período de início de funcionamento em junho de 2006 até maio de 2009, chega-se a um valor de mais de um milhão de reais gastos para cobrir perdas de solvente. Se for considerar um consumo ideal de aproximadamente 1,0

litro de solvente por tonelada de soja processada, o montante chegaria a cerca de R\$ 1,67 milhões nos 36 meses avaliados. Valores estes, que tranquilamente poderiam ser utilizados para a aquisição de novos e modernos equipamentos ou a implantação de automação de processos. A evolução do desperdício de hexano é apresentada na Figura 3.

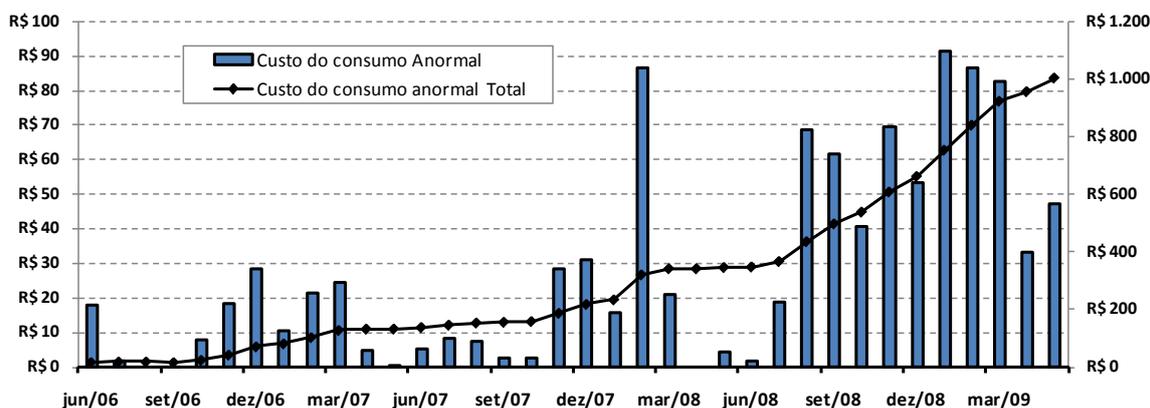


Figura 3. Evolução do desperdício de hexano em R\$

A Figura 4 traz o consumo diário de solvente. Observa-se bem que o consumo de solvente raramente se manteve em patamares aceitáveis pela indústria (1,7 l/ton. soja). À medida que os equipamentos vão se desgastando, a perda vai

aumentando. Justifica-se uma média razoável no período de reinauguração da fábrica até meados de novembro de 2007 por ter sido realizada uma manutenção geral para colocá-la em funcionamento.

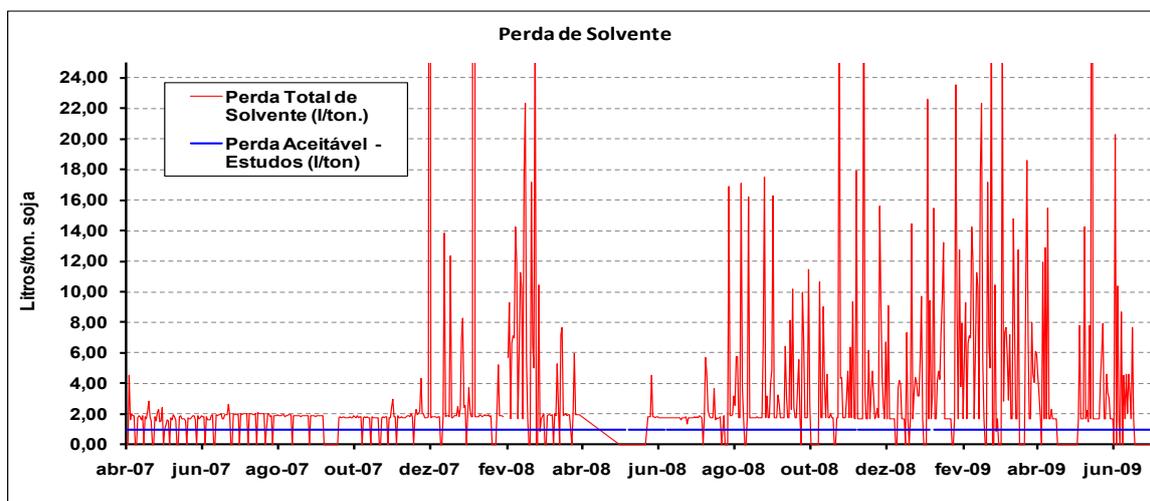


Figura 4. Perdas de solvente em litros por tonelada de soja processada

Já o consumo médio mensal de solvente hexano destacado na Figura 5 oscilou entre 1 e 4 litros no período de junho de 2006 a janeiro de 2008. Depois deste intervalo, período compreendido entre as duas últimas manutenções da fábrica, o consumo começou a oscilar positivamente,

atingindo médias ao redor de 8,5 litros. Cabe salientar que os maiores índices médios de perda de hexano se concentram próximos aos meses de março e abril, na qual é realizada anualmente uma manutenção de aproximadamente 20 dias na fábrica.

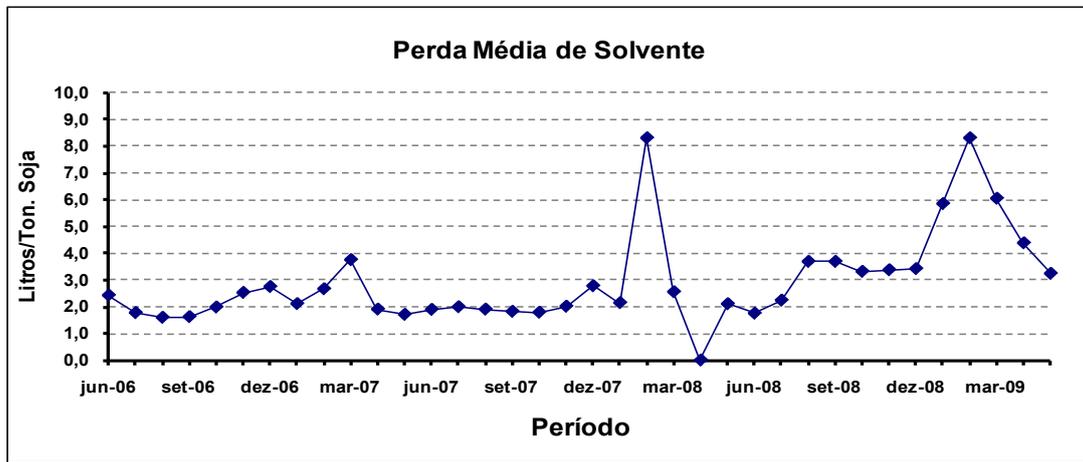


Figura 5. Perda média mensal de solvente hexano

#### 4.2 IDENTIFICAÇÃO DAS CAUSAS E PONTOS DE PERDAS DE SOLVENTE

A operação de extração de óleos vegetais na indústria estudada é composta de *redlers* (fitas transportadoras de flocos e farelo), extrator do tipo *rotocell*, dessolventizador/tostadors, pré-*evaporador*, *evaporador*, *aquecedor de micela*,

coluna evaporadora de óleo vegetal (*stripping*), condensadores horizontais e verticais, tanques de armazenamento e decantação de óleo e hexano e colunas de absorção de hexano presente no ar. Faz parte também da extração, a unidade de degomagem de óleo localizada entre o *dessolventizador* e a *destilaria da micela*. A Figura 6 mostra o desenho esquemático da extração.

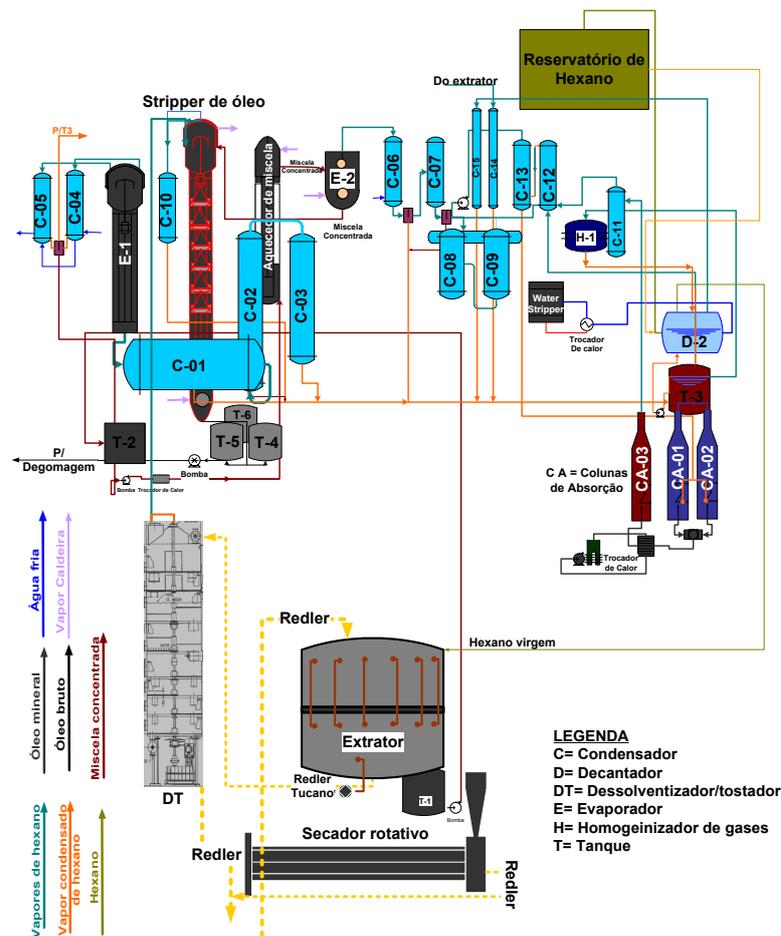


Figura 6. Desenho esquemático da extração

A investigação das causas de perda de solvente hexano no processo de extração foi realizada

segundo quatro linhas de pesquisa conforme a Figura 7.

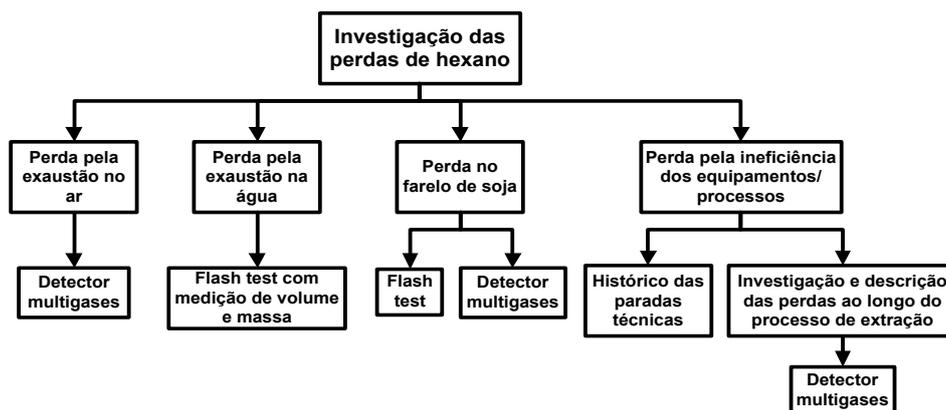


Figura 7. Organograma de investigação das perdas de hexano na extração

#### 4.2.1 Perda de Hexano pela Exaustão na Atmosfera

A análise de perdas de hexano para a atmosfera foi feita através de detector multigases e se concentrou nos pontos onde a planta industrial possui saídas ou escapes de gases passíveis de perda de hexano. Os locais avaliados foram: a saída de exaustão do secador rotativo de farelo, a válvula de escape de pressão do extrator e a exaustão das colunas frias de absorção por óleo mineral. Em nenhum dos pontos citados foi detectada presença de gases de hexano.

Na exaustão do secador, a presença de hexano fica condicionada tão somente a uma sequência de inatividade do DT e do Secador rotativo que trabalham em temperatura muito superiores a temperatura de evaporação do hexano. A saída na parte superior do extrator (válvula de escape) também não registrou perdas porque a temperatura interna do extrator dificulta a evaporação do hexano e principalmente porque o sistema de descompressão da válvula possui um pequeno reservatório de água que não deixa passar o hexano. Já nas colunas de absorção, o óleo mineral tem conseguido desempenhar seu papel de quebrar as cadeias da mistura hexano e ar, resultando na recuperação total do solvente para o processo. Os locais analisados estão destacados na Figura 8.



Figura 8. Pontos de análise de emissão de hexano para atmosfera

Foi ainda verificada a presença de gases na saída do DT e em duas oportunidades não foi encontrado vestígio de hexano, o que reforça a eficiência do extrator em condições normais de operacionalidade.

#### 4.2.2 Perda de Hexano pela Exaustão na Água

A presença de hexano na água descartada foi verificada basicamente em três locais considerados potencialmente “suspeitos”, sendo o primeiro na saída do tanque de decantação, o segundo no descarte de água do *water stripper* ou tanque refulvedor e o terceiro no retorno de vapor de água condensado para a caldeira.

O primeiro local, na saída do tanque de decantação, em condições normais, não tem vazão nenhuma de água. Mas por ter um registro com problema de desgaste estava apresentando uma boa

perda de solvente, confirmado em *flash test* de duas amostras. Após a identificação, foi feita a troca da vedação do registro e este problema deixou de existir.

O segundo local, no descarte de água do *water stripper*, apresentou *Flash* positivo em todas as amostras coletadas, o que levanta duas hipóteses:

- 1) O trocador de calor anterior ao equipamento não está aquecendo o suficiente para a evaporação final do hexano.
- 2) A água está passando muito rapidamente por dentro do *water stripper* não dando tempo suficiente para a mudança de fase da mistura água + hexano.

Neste ponto, o volume de hexano jogado fora ficou em 0,46% do volume total de água jogada fora. Considerando que foram analisados 60 ml de solução água + solvente e que a densidade relativa do hexano é de 0,66g/ml, temos uma perda total na ordem de 4,63ml/litro de água.

O terceiro local, no retorno de vapor de água condensado para a caldeira, não apresentou perdas de hexano em nenhuma das amostras de água coletadas.

#### 4.2.3 Perda de Hexano no Farelo de Soja

As perdas de hexano junto ao farelo de soja ocorrem principalmente devido a ineficiência de operação DT ou do Secador de farelo. Na indústria avaliada foi constatado através do método *flash test* que em condições normais de operação o dessolventizador/tostador consegue evaporar todo o solvente hexano do farelo. Este sucesso é alcançado porque o DT (Figura 9) recebe vapor de camisa aquecido, elevando a temperatura interna na seção de dessolventização, a 80°C e na parte de tostagem a 100°C. Como o hexano troca da fase líquida para a gasosa a partir de 63°C a 69°C, torna-se menos denso facilitando a evaporação para o posterior reaproveitamento no processo no pré-evaporador.



Figura 9. Ponto de coleta de amostras de farelo para análise *flash test*

#### 4.2.4 Perda de Hexano pela Ineficiência dos Equipamentos e Operações

A indústria em questão possui uma particularidade que merece muita atenção, que é o estado de conservação dos equipamentos. Por estar em operação há cerca de 50 anos e ter ficado um período de aproximadamente 2 anos desativada antes da entrada em operação no ano de 2006, apresenta muitos desgastes estruturais. Outro fator complicante é a falta de cobertura nas instalações fazendo com que a ação do tempo acelere a deterioração dos equipamentos.

##### a) Históricos das Paradas Técnicas

A partir da avaliação do consumo médio diário de hexano percebeu-se a necessidade de verificar o porquê que ao longo dos meses ocorriam tantas oscilações no gasto de solvente. Buscou-se então, através de registros em livros de produção da empresa, levantar um histórico destas ocorrências que vem prejudicando seriamente o rendimento da fábrica. Os resultados apresentados na Figura 10 demonstram que em um histórico de 127 registros, 18,1% ocorreram em virtude de problemas de quebras de chaveta da eclusa de entrada do DT. Esta peça funciona como um dispositivo de segurança nos momentos de sobrecarga de massa proveniente do extrator. Outros pontos como o agitador do *rotocel* com 7,9%, *redler tucano* com 7,1% e pinos da saída do DT, também absorvem uma boa demanda da equipe de manutenção.

Analisando a Figura 11 onde aborda os conjuntos de equipamentos envolvidos, ou sistemas, temos que mais da metade das paradas de fábrica com perda relativa de solvente hexano se originaram entre o extrator e o DT. Nestes locais a massa está carregada de solvente e cada parada resulta em evaporação de hexano (quando o farelo aquecido a altas temperaturas for exposto ao ar). Estes números induzem a uma afirmação de que não há um controle eficiente do volume de massa ou *Lex* que circula entre o extrator e o DT. Outra constatação feita através do diálogo com os operadores da extração é de que a não realização de uma devida manutenção principalmente no extrator, *redler tucano* (que liga o extrator ao DT) e o DT, acarreta em desgastes e rompimento de pequenas estruturas tais como: pinos, engrenagens, correias, etc., que inevitavelmente acabam obstruindo a passagem do farelo.

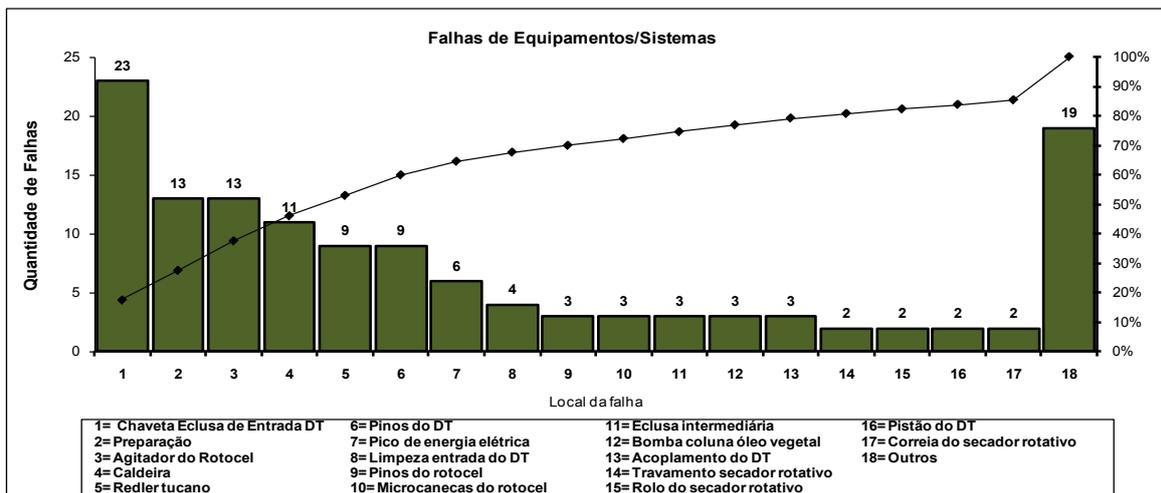


Figura 10. Principais causas de parada de fábrica com perda de solvente

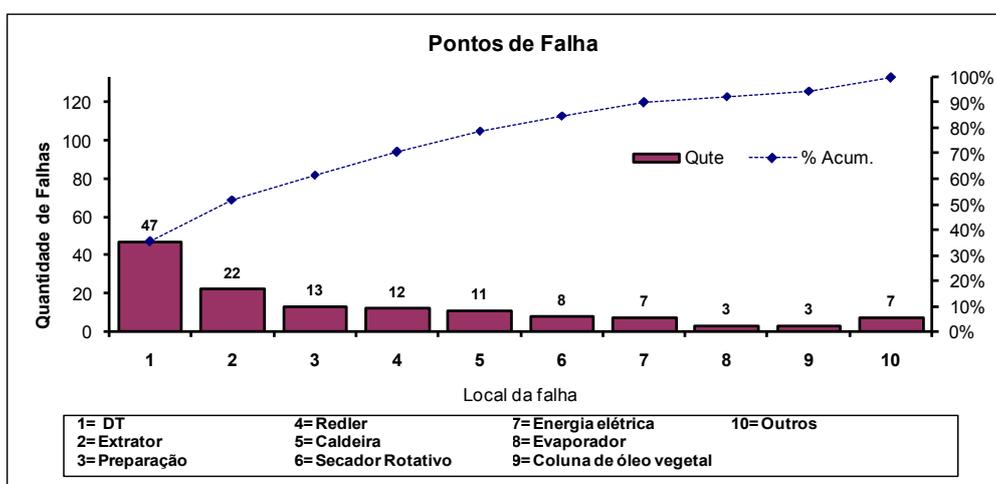


Figura 11. Principais sistemas envolvidos nas paradas de fábrica

b) Investigação das perdas ao longo do processo de extração

#### – NA OPERAÇÃO DE EXTRAÇÃO

A operação de extração é realizada em um extrator *rotocel* (Figura 12) de oito seções de extração e 18 vagões internos. Três vagões estão nas etapas de drenagem e carregamento. Os demais estão divididos nas seções de extração sendo: 7 seções com 2 vagões cada e uma última seção com um vagão. Cada vagão demora 2,5 minutos para passar por uma seção, totalizando 45 minutos para completar a volta no extrator. A temperatura interna de trabalho fica entre 35° C e 40°C. Este equipamento possui uma válvula de escape de pressão na parte superior para evitar que o excesso

de ar proveniente da massa expandida da preparação em mistura com o hexano e calor provoque explosões internas.

Em relação à perda de hexano, nas medições realizadas com o detector multigases MSA foi detectado a presença de gases de hexano com índices de concentração de 2,4% no eixo de entrada do *redler* da preparação. Outro ponto identificado de perda foi nas laterais do extrator conforme mostrado na Figura 6. Nestes locais as paredes externas do *rotocell* apresentavam problemas na soldagem das chapas, deixando escapar vapores de água e solvente. No decorrer dos trabalhos, parte dos problemas foi solucionada através da aplicação de produtos para a vedação das emendas.



Figura 12. Locais com perdas de hexano no extrator

– Primeiro Estágio de Aproveitamento e Recuperação do Hexano

O reaproveitamento e a recuperação dos gases provenientes do DT são feitos em um pré-evaporador e um conjunto de condensadores. Primeiramente os gases entram no pré-evaporador do tipo vertical com tubo longo e fluxo ascendente a uma temperatura de 98°C e circulam em contracorrente com a micela a 56°C provenien-

te do extrator trocando calor. No pré-evaporador não foi detectado perda de gases por problemas de desgaste na estrutura. Nesta etapa, os gases de hexano que evaporam são condensados em dois condensadores específicos do tipo casco e tubo especificados na Figura 13 de Condensadores do pré-evaporador I e II. Os condensadores tipo casco e tubo utilizam-se do mesmo princípio contracorrente de condensação do pré-evaporador, porém, com fluidos diferentes. Neste caso, a água fria circula internamente nos tubos resfriando os gases que circulam livremente entre o casco e os tubos. O condensado desta etapa vai para um tanque de recirculação de óleo.

Já o condensado do pré-evaporador segue para um conjunto de condensadores sendo um horizontal e dois verticais, também do tipo casco e tubo arrefecido a água. O que condensar nos condensadores, vai para um tanque denominado tanque 3 ou simplesmente T3, que concentra os vapores condensados de vários pontos. Nesta etapa também não se observou perdas visíveis de hexano nem detectáveis com o detector.

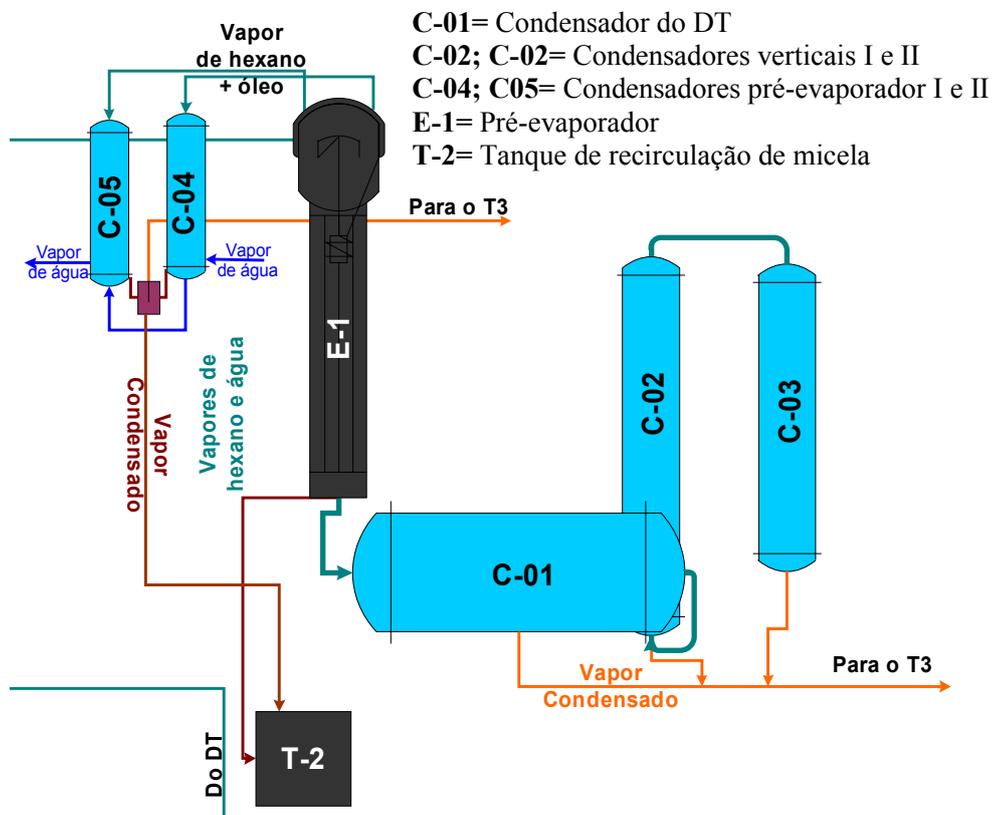


Figura 13. Esquema da recuperação de Solvente do DT

– Primeiro Estágio da Destilação da Micela

O primeiro estágio da destilação da micela (Figura 14) compreende um aquecedor de micela, um evaporador, uma coluna de óleo vegetal (também chamada *stripper de óleo*) e cinco condensadores tipo casco e tubo.

O aquecedor de micela é estrutura tubular constituída de casco e tubos projetada para elevar a temperatura da micela de 80°C para aproxima-

damente 130°C. Na sua tubulação interna circula micela proveniente do tanque de recirculação e pré-evaporador e faz um fluxo contracorrente com vapores de água aquecidos provenientes da caldeira. Este equipamento vinha apresentando problemas nos últimos meses devido a perfurações das tubulações internas, perdendo micela e vapor que acabavam se misturando.

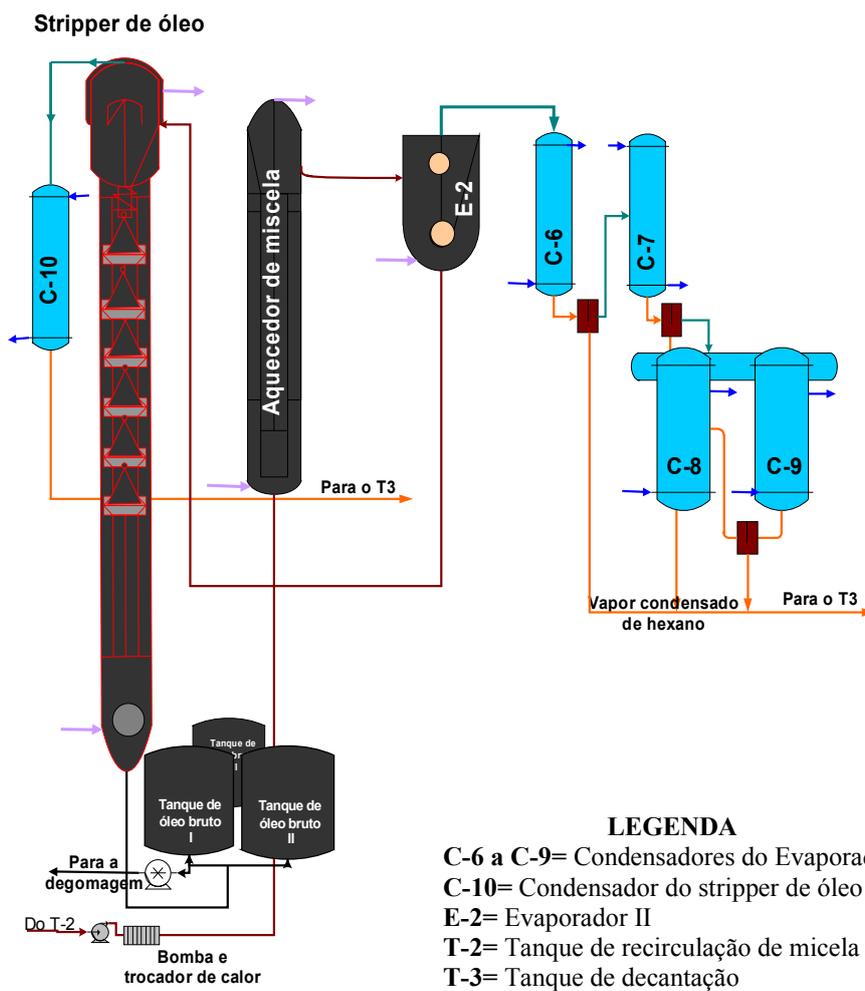


Figura 14. Primeiro estágio da destilação da micela

No intuito de reduzir custos com hexano, foi encaminhada a troca do equipamento durante a parada de manutenção do mês de abril de 2009. Como não foi possível mensurar a eficiência real da simples troca deste equipamento por não ter registros de vazão entre o aquecedor de micela

e o evaporador, buscou-se a comparação através das perdas nominais de hexano da fábrica em um período de 30 dias de produção antes de 30 dias depois das manutenções. Na Figura 15 esboça-se o comportamento do consumo de solvente no período avaliado.

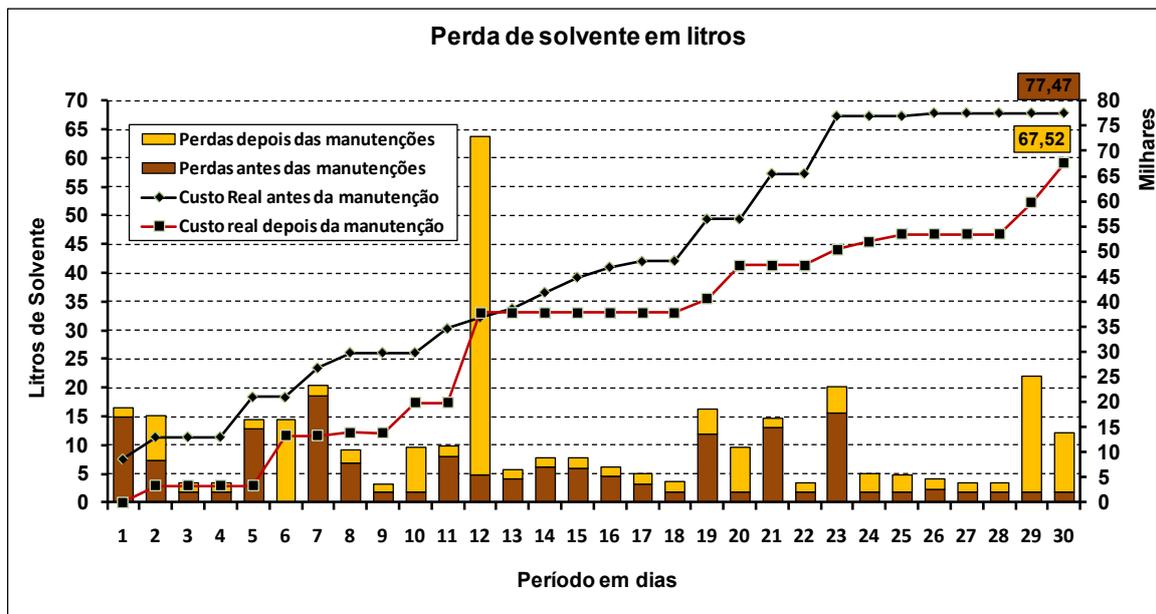


Figura 15. Gráfico das perdas de solvente antes e depois das manutenções de abril/2009

Fazendo a média dos resultados coletados no período, constatou-se uma redução no consumo de solvente na ordem de 21,26%, passando de 5,10 para 4,02 litros por tonelada de soja processada. Se forem analisar as perdas de solvente sob a ótica de perdas normais praticadas pela empresa, ou seja, 1,7 litros de solvente por tonelada processada, o custo total do desperdício nos 30 dias anteriores a manutenção foi de R\$ 77.473,05 e nos 30 dias posteriores R\$ 67.521,89, uma redução de 12,8%.

Dando seqüência na operação de destilação da micela, apresenta-se um conjunto com um evaporador e quatro condensadores do tipo casco e tubo. Tanto o evaporador como os condensadores estão em boas condições de conservação e não apresentam perdas de hexano. O evaporador trabalha sob vácuo, dificultando o escape de gases da estrutura.

Outro equipamento que vem apresentando perdas de menor escala é a coluna de óleo vegetal ou coluna de *stripping*. Esta coluna faz a última separação do óleo bruto do hexano. As perdas se concentram em vazamentos de óleo e hexano no corpo tubular da coluna. Estes pontos necessitam frequentemente de manutenção e vedação.

#### – Segundo Estágio da Destilação da Micela

No segundo estágio da destilação da micela ocorre a condensação final dos gases de hexano. Nesta etapa, três ciclos atuam sistematicamente.

Nos dois primeiros ciclos, 2 condensadores verticais longos tipo casco e tubo (C-15 e C-14 da Figura 16) fazem a condensação dos gases provenientes do decantador (D-1) e do extrator respectivamente. O condensado retorna para o Tanque 3 (tanque de concentração de gases e líquidos) e posteriormente para o tanque de decantação e separação da água do solvente (D-1).

O terceiro sistema atua em ciclo fechado recuperando os gases que evaporam do tanque 3, passando pelos condensadores do tipo casco e tubo C-12 e C-13 onde os gases de hexano cruzam em fluxo contracorrente com a água fria e condensa para o tanque 3. Os vapores que ainda evaporarem neste processo, são encaminhados para duas colunas frias (colunas de absorção 1 e 2) onde encontram óleo mineral resfriado a uma temperatura próxima a 10°C. O óleo mineral por sua vez possui características físicas que permite a captura do hexano através da junção das moléculas. Este fluido formado passa por uma filtração, é aquecido em um trocador de calor a 130° e conduzido para uma coluna quente (colunas de absorção 3). Nesta coluna somente o hexano evapora para o condensador C-11 e C-12 novamente porque o óleo mineral possui características conhecidas como de inércia química, ou seja, possui uma cadeia longa com mais de 20 carbonos que não volatiliza e com pouca ou nula propensão a reações químicas.

Neste ciclo também não foi detectado vazamentos de vapor de hexano em virtude de recentemente ter sido realizada manutenção e correção das falhas nas vedações. Mas possui pontos com

grande risco de escape de gases como nas saídas das tubulações em cima do tanque 3 e nas aberturas das colunas fria e quente.

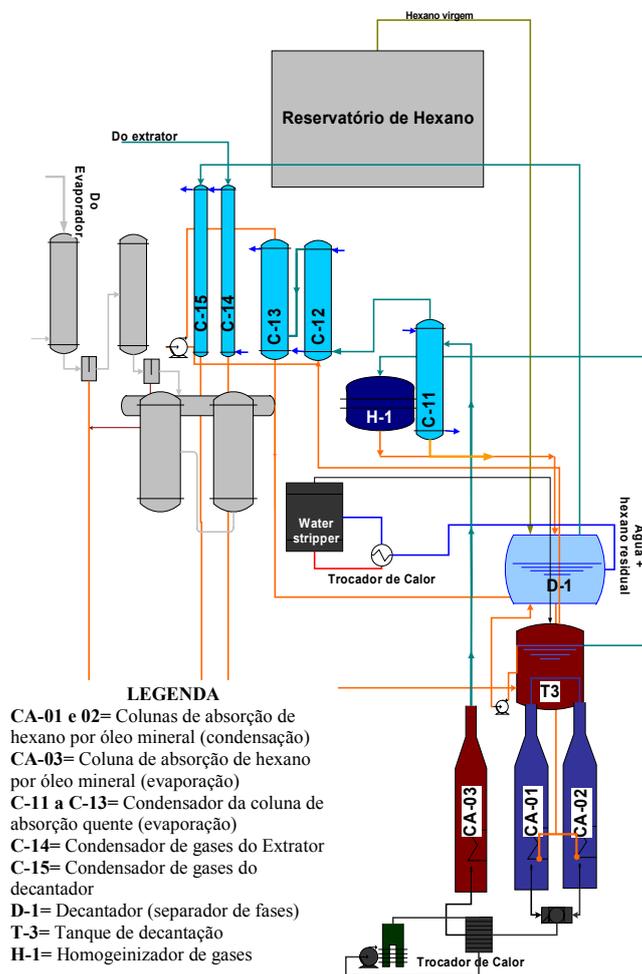


Figura 16. Segundo estágio de destilação da micela

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As etapas desenvolvidas ao longo do trabalho visaram satisfazer o objetivo principal de buscar as causas potenciais de perdas de hexano em uma indústria de óleo de soja para reduzir os custos do uso deste solvente.

Portanto, para alcançar esse objetivo algumas barreiras foram encontradas como a inexistência de desenhos esquemáticos dos processos. Para chegar ao entendimento dos métodos e equipamentos utilizados foi necessário realizar um estudo exaustivo de modelos similares de extração citados por outros autores para depois, com auxílio das explicações dos operadores industriais

poder desenvolver os desenhos apresentados em partes neste trabalho. Os desenhos esquemáticos serviram de suporte para a realização da investigação das causas de consumo excessivo de solvente na fábrica.

A recuperação de solvente hexano na extração é um processo de relativa complexibilidade e exige muita cautela e atenção aos detalhes. Durante os levantamentos foram analisados os pontos de maior potencial de perdas de solvente e pode-se constatar que apesar das manutenções freqüentes realizadas na fábrica, há uma dificuldade muito grande em se manter níveis aceitáveis de desperdícios.

A análise gráfica dos registros de produção apontou para um problema recorrente: as para-

das de fábrica por quebra de equipamentos. Em mais de 50% das vezes que a fábrica parou e teve grande perda de solvente, a origem do problema estava localizada entre o extrator e o dessolventizador/tostador.

As medições realizadas não detectaram perdas de hexano para a atmosfera nos exaustores da fábrica. Também não houve registros de perdas junto ao retorno do vapor condensado para a caldeira e nem junto ao farelo. Mas, detectou-se perdas de hexano junto a água descartada no *wat-ter stripper* ou tanque refervedor de até 0,46% do volume total das amostras coletadas.

Também, na avaliação dos equipamentos e processos verificou-se perdas referentes a vazamentos de gases de hexano nas vedações dos principais equipamentos, principalmente no extrator e na coluna de *stripper* de óleo.

Ao mensurar a significância do desperdício, percebeu-se claramente nos gráficos apresentados o impacto negativo de aproximadamente 0,5 milhões de Reais por ano para a empresa. Em relação aos aspectos de segurança ambiental, a empresa é fiscalizada periodicamente e não apresenta históricos de ocorrências de problemas ambientais. Apesar de apresentar perdas de hexano para a atmosfera, as concentrações não chegam a ser significativas para representar perigo a natureza a curto e médio prazo.

Para evitar danos a saúde dos operadores, o acesso a área de extração é restrita e somente os profissionais que trabalham no local e alguns supervisores mediante identificação eletrônica e por câmeras de segurança podem entrar. Todos recebem o devido treinamento e equipamentos de segurança necessários para executar as atividades.

O estudo sobre perdas de matéria-prima na indústria de óleo de soja tem despertado interesse de setores industriais e acadêmicos, devido a grande utilização do hexano como solvente na produção de óleo de soja. Portanto o trabalho vem ao encontro das necessidades dessas organizações produtoras de óleo, já que as empresas de médio porte, predominantes no cenário brasileiro, carecem de auxílio em gestão de processos, para evitar o desperdício do hexano ao longo do processo produtivo.

O trabalho busca também contribuir cientificamente abordando técnicas simples de verificação e inspeção de perdas de solvente. Os métodos utilizados podem ser aplicados a todas as empresas

do setor, podendo inclusive ser otimizado pelos demais pesquisadores e profissionais da área.

Para o ramo industrial, o estudo aborda as conseqüências cumulativas das pequenas perdas de matéria-prima, buscando sensibilizar os gestores para a melhoria contínua dos processos com o aumento da lucratividade através do combate ao desperdício.

Por fim, o tema desenvolvido nesta pesquisa não esgota a possibilidade de futuros trabalhos que busquem o aperfeiçoamento de uma planta de obtenção de óleo e farelo de soja, em termos de economia no consumo de energia e de hexano. Além disso poderá ser realizado um estudo mais aprofundado da recuperação de solventes, para otimização do processo e recuperação do calor e o aprofundamento de estudos de solventes alternativos.

## REFERÊNCIAS

AMARAL, L.; JAIGOBIND, S. J.; JAIGOBIND, A. G. A. **Óleo de Soja. Dossiê Técnico**. Paraná: Instituto de Tecnologia do Paraná, 2006.

BRASIL. Lei n. 9605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 13 fev. 1998. Disponível em: <[www.ibama.gov.br/fauna/legislacao/lei\\_98.pdf](http://www.ibama.gov.br/fauna/legislacao/lei_98.pdf)> Acesso em 15 maio 2011.

CARRÍN, M. E.; CRAPISTE, G. H. Mathematical modeling of vegetable oil-solvent extraction in a multistage horizontal extractor. *Journal of Food Engineering*, v. 85, n. 3, p. 418-425, 2008.

CUSTÓDIO, A. F. Modelagem e Simulação do Processo de Separação de Óleo de Soja-Hexano por Evaporação. Dissertação (Mestrado). UNICAMP, Campinas: 2003.

DORSA, R. Tecnologia de Processamento de óleos, gorduras vegetais e derivados. Westfalia Separator do Brasil, 1988.

GUARIENTI, É. P.; LOVATO, A. **O Solvente Hexano no Processo de Extração de Óleo de Soja**. 2009. 83f. TCC (Engenharia de Produção) – Faculdade Três de Maio – Setrem, 2009.

- JÚNIOR, C. C. F. **Integração energética da etapa de extração de óleo de soja, utilizando a análise pinch**. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Química) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2009.
- LOPES, K. S. **Avaliação da Etapa de Clarificação do Óleo de Soja Através de Planejamento Composto Central e Investigação do Potencial de Melhoria Energética no Processamento da Soja**. Dissertação (Mestrado), Curitiba: sn, 2008.
- OETTERER, M.; D'ARCE, M. A. B. R.; SPOTO, M. H. F.; **Fundamentos de Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Barueri, SP: Manole, 2006.
- OSHA. **Occupational Safety and Health Guideline for n-Hexane**. On-line. Disponível em <<http://www.osha.gov/SLTC/healthguidelines/n-hexane/recognition.html>>. Acesso em 10 de março 2011.
- PARAÍSO, P. R. **Modelagem e Análise do Processo de Obtenção do Óleo de Soja**. Tese de Doutorado. Campinas: UNICAMP, 2001.
- PARAÍSO, P. R.; ANDRADE, C. M. G.; ZEMP, R. J. Destilação da miscela I: modelagem e simulação da evaporação do hexano. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, n. 3, p. 459-467, set.-dez. 2003.
- \_\_\_\_\_. Destilação da miscela II: modelagem e simulação do stripping do hexano. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 1, p. 37-44, jan.-mar. 2005.
- PETROBRÁS. **Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico-FISPQ**. On-line. Disponível em <[www.higieneocupacional.com.br/download/hexano-petrobras.pdf](http://www.higieneocupacional.com.br/download/hexano-petrobras.pdf)> Acesso em 10 de março 2011.
- THOMAS, G. C. **Análise Teórico-Experimental da Extração de Óleo de Soja em Instalação Industrial do Tipo Rotocell**. Tese (Doutorado). Porto Alegre, 2003.
- VALDUGA, E.; TONEL, E.; TATSCH, P. O.; SILVA, M. F.; TREICHEL, H. Evaluation of process parameters in the industrial scale process of soybean oil extraction using experimental design methodology. **Journal of Food Process Engineering**, v. 34, p. 351-362, 2011.