



Universidade Federal de Ouro Preto
Programa de Pós-Graduação Engenharia Ambiental
Mestrado em Engenharia Ambiental

Patrícia Aparecida Ferreira de Souza

**RECUPERAÇÃO DO SOLVENTE DOS RESÍDUOS DO PROCESSO
DE PINTURA NA INDÚSTRIA MOVELEIRA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título: “Mestre em Engenharia Ambiental – Área de Concentração: Meio Ambiente”

Orientador: Profa. Dra. Ana Augusta Passos Rezende

Co-orientador: Prof. Dr. Cornélio de Freitas Carvalho

Ouro Preto, MG

2009

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Dedico este trabalho à minha mãe e ao meu marido. Sem o apoio deles teria sido impossível.

Ao meu filho Gustavo, um anjo em minha vida.

Agradecimentos

Agradeço a Deus, por me amparar nas horas mais difíceis.

À minha mãe Edna, pela colaboração, pelo apoio incondicional. Se eu pude ver e seguir mais além é porque muitas vezes eu estava em seus ombros.

A meu marido Denilson, por entender minha ausência, pelo apoio, carinho e dedicação.

À minha avó Naná, pelo carinho da vida inteira.

À Professora Ana Augusta e ao Professor Cornélio, pela orientação deste trabalho.

Ao Professor Maurício Coutrim, pela colaboração.

À Professora Maria Irene Yoshida, pela colaboração, amizade e ensinamentos.

Ao Professor Cláudio Mudado pelo projeto.

À SEBRAE/ FINEP pelo projeto.

Aos funcionários Leonel e João Bosco, sua ajuda foi muito importante.

Aos alunos Tallita (UFOP) e Rogério (UFV) pela colaboração.

Agradeço em especial ao colega Júlio César do laboratório de Cromatografia, pela fundamental ajuda e pela paciência.

Às amigas Nelma, Patrícia da Luz, Cássia e Adriana, pelo incentivo e pelas palavras de apoio. Sem vocês minha caminhada teria sido mais difícil.

A todos aqueles, amigos colegas e professores que contribuíram de alguma forma para a conclusão deste trabalho.

A todos aqueles que não acreditaram em mim. Sua dúvida foi um dos meus maiores incentivos.

Se o final é doce, o que importa
se a trajetória foi amarga?!

(William Shakespeare)

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE TABELAS.....	IX
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	X
RESUMO	XI
ABSTRACT	XII
1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 PANORAMA DO SETOR MOVELEIRO.....	16
2.2 O PÓLO MOVELEIRO DE UBÁ	19
2.3. GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA INDÚSTRIA DE MÓVEIS	22
2.3.1 PROCESSO PRODUTIVO E GERAÇÃO DE RESÍDUOS NA INDÚSTRIA MOVELEIRA	24
2.4. GERENCIAMENTO DE TINTAS E SOLVENTES.....	29
2.4.1. TINTAS	29
2.4.2. SOLVENTES	32
2.4.3 ESTUDOS SOBRE SOLVENTES	35
2.4.4 GERENCIAMENTO DE SOLVENTES.....	36
2.5 GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DO PROCESSO DE PINTURA DE MÓVEIS	39
2.5.1 RESÍDUO DE TINTA DA LIMPEZA DA LINHA DE PINTURA	39
2.5.1.1. RECICLAGEM DO RESÍDUO DE TINTA DA LIMPEZA DA LINHA DE PINTURA.....	40
2.5.2. DESTINAÇÃO FINAL DA BORRA DE TINTA GERADA NO PROCESSO DE DESTILAÇÃO	46
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	51
3.1 QUANTIFICAÇÃO DOS INSUMOS UTILIZADOS NA LINHA DE PINTURA DE MÓVEIS E DOS RESÍDUOS GERADOS.....	51
3.2 COLETA DAS AMOSTRAS.....	52
3.3 PREPARO DAS AMOSTRAS	52
3.4 DESTILAÇÃO DAS AMOSTRAS	53
3.5 CARACTERIZAÇÃO DOS PRODUTOS DA DESTILAÇÃO	54
3.5.1 MEDIDA DO ÍNDICE DE REFRAÇÃO.....	54
3.5.2 CROMATOGRAFIA GASOSA ACOPLADA À ESPECTROMETRIA DE MASSAS.....	55
3.5.3 ANÁLISE TÉRMICA	55
3.6 TESTE DE EFICIÊNCIA DO SOLVENTE EM REMOÇÃO DE TINTA.....	56
3.7 TAXA DE EVAPORAÇÃO DO SOLVENTE	56
3.8 RECUPERAÇÃO DA BORRA DE TINTA.....	57
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	59
4.1 QUANTIFICAÇÃO DOS INSUMOS UTILIZADOS E DOS RESÍDUOS GERADOS NO PROCESSO DE PINTURA DE MÓVEIS	59
4.1.1 LEVANTAMENTO QUANTITATIVO DOS PRODUTOS QUÍMICOS UTILIZADOS NO PROCESSO DE PINTURA DE MÓVEIS DA EMPRESA CELMÓVEIS	59

4.1.2 LEVANTAMENTO QUANTITATIVO DOS RESÍDUOS QUÍMICOS GERADOS NO PROCESSO DE PINTURA DE MÓVEIS DA EMPRESA CELMÓVEIS	59
4.2 AVALIAÇÃO DOS PROCESSOS DE DESTILAÇÃO DOS RESÍDUOS DE PINTURA DE MÓVEIS.....	61
4.2.1 CARACTERIZAÇÃO DOS PRODUTOS DA DESTILAÇÃO	63
4.2.1.2 BORRA DE TINTA RESULTANTE DO PROCESSO DE DESTILAÇÃO.....	66
4.3 TESTE DE INVESTIGAÇÃO DO PODER DE LIMPEZA DO SOLVENTE RECUPERADO	73
4.4 TAXA DE EVAPORAÇÃO DO SOLVENTE	74
4.5 RECUPERAÇÃO DA BORRA DE TINTA RESULTANTE DO PROCESSO DE DESTILAÇÃO	78
4.6 PROPOSTA DE GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS DO PROCESSO DE PINTURA DE MÓVEIS.....	80
5 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	82
REFERÊNCIAS	84
APÊNDICE A- RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CROMATOGRAFIA	90
APÊNDICE B - RESULTADOS DA ANÁLISE TÉRMICA.....	100

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1. LOCALIZAÇÃO DO PÓLO MOVELEIRO DE UBÁ.	20
FIGURA 2.2: PRINCIPAIS LINHAS DE PRODUÇÃO DE MÓVEIS DE UBÁ.	24
FIGURA 2.3.:FLUXOGRAMA DA PRODUÇÃO DE MÓVEIS E GERAÇÃO DE RESÍDUOS EM CADA ETAPA.....	28
FIGURA 2.4: CONSUMO DE SOLVENTES NO BRASIL.	37
FIGURA 2.5. FLUXOGRAMA DA LINHA DE PINTURA UV.	40
FIGURA 2.6. VISTA DA LINHA DE PINTURA DE MÓVEIS.	40
FIGURA 2.7: ARMAZENAMENTO DO RESÍDUO DE TINTA EM TAMBORES.	41
FIGURA 2.8. FLUXOGRAMA DE RECICLAGEM DO RESÍDUO DE TINTA DA LIMPEZA DA LINHA DE PINTURA.	44
FIGURA 2.9. SISTEMA DE DESTILAÇÃO SIMPLES DE SOLVENTE ALIMENTADO POR VAPOR.....	46
FIGURA 2.10: DETALHES DO PROCESSO DE REPIGMENTAÇÃO E ADITIVAÇÃO DO RESÍDUO BORRA DE TINTA. ...	49
FIGURA 4.1: COMPARATIVO DE PRODUTOS USADOS NA LINHA DE PINTURA DE MÓVEIS E O RESÍDUO GERADO. 61	
FIGURA 4.2: TG EM AR OBTIDA ANTES DA DESTILAÇÃO DA AMOSTRA 2 (PRIMER + SOLVENTE, SEM QUALQUER TRATAMENTO PRÉVIO.	68
FIGURA 4.3: TG EM AR DA BORRA DA DESTILAÇÃO DA AMOSTRA PRIMER+SOLVENTE APÓS A FILTRAÇÃO.	69
FIGURA 4.4: TG EM AR DO RESÍDUO DA FILTRAÇÃO DA AMOSTRA 1, PRIMER + SOLVENTE.	70
FIGURA 4.5: DSC EM NITROGÊNIO DA AMOSTRA DE PRIMER + SOLVENTE ANTES DA DESTILAÇÃO.	71
FIGURA 4.6: DSC EM NITROGÊNIO REALIZADA PARA A BORRA DA DESTILAÇÃO DA AMOSTRA 2 (PRIMER + SOLVENTE).	72
FIGURA 4.7: DSC REALIZADA EM NITROGÊNIO PARA O RESÍDUO OBTIDO A PARTIR DA FILTRAÇÃO DA AMOSTRA 2 (PRIMER + SOLVENTE).	73
FIGURA 4.8: COMPARAÇÃO DAS CURVAS DE EVAPORAÇÃO PARA A AMOSTRA 2, PRIMER + SOLVENTE.....	76
FIGURA 4.9: COMPARAÇÃO DAS CURVAS DE EVAPORAÇÃO PARA A AMOSTRA 2, PRIMER + SOLVENTE.	77
FIGURA 4.10: COMPARAÇÃO ENTRE AS CURVAS DE EVAPORAÇÃO PARA A AMOSTRA 3, MISTURA.....	78
FIGURA 4.11: CROMATOGRAMA DA EVAPORAÇÃO DE UM SOLVENTE COMERCIAL.	78
FIGURA 1A: CROMATOGRAMA DA FRAÇÃO 1A DO SOLVENTE RECUPERADO APÓS A DESTILAÇÃO FRAZIONADA DA AMOSTRA 1: VERNIZ UV + SOLVENTE.....	90
FIGURA 2A: CROMATOGRAMA DA FRAÇÃO 1B DO SOLVENTE RECUPERADO APÓS A DESTILAÇÃO FRAZIONADA DA AMOSTRA 1:VERNIZ UV + SOLVENTE.	90
FIGURA 3 A: CROMATOGRAMA DA FRAÇÃO 1C DO SOLVENTE RECUPERADO APÓS A DESTILAÇÃO FRAZIONADA DA AMOSTRA 1: VERNIZ UV + SOLVENTE.....	91
FIGURA 4A: CROMATOGRAMA DA FRAÇÃO 2A OBTIDA PELA DESTILAÇÃO FRAZIONADA DA AMOSTRA 2: PRIMER + SOLVENTE.	92
FIGURA 5A: CROMATOGRAMA DA FRAÇÃO 2B OBTIDA PELA DESTILAÇÃO FRAZIONADA DA AMOSTRA 2: PRIMER + SOLVENTE.	92
FIGURA 6A: CROMATOGRAMA DA FRAÇÃO 2C OBTIDA PELA DESTILAÇÃO FRAZIONADA DA AMOSTRA 2: PRIMER + SOLVENTE.	93
FIGURA 7A: CROMATOGRAMA DA FRAÇÃO 3A OBTIDA PELA DESTILAÇÃO FRAZIONADA DA AMOSTRA 3- MISTURA.....	93
FIGURA 8A: CROMATOGRAMA DA FRAÇÃO 3B OBTIDA PELA DESTILAÇÃO FRAZIONADA DA AMOSTRA 3, MISTURA.....	94
FIGURA 10A: CROMATOGRAMA DO SOLVENTE RECUPERADO APÓS A DESTILAÇÃO SIMPLES DA AMOSTRA 1 PRIMER + SOLVENTE.	96
FIGURA 11A: CROMATOGRAMAS DAS FRAÇÕES OBTIDAS PELA DESTILAÇÃO FRAZIONADA DA AMOSTRA 2- PRIMER + SOLVENTE.	97
FIGURA 12A: CROMATOGRAMA DO SOLVENTE RECUPERADO A PARTIR DA DESTILAÇÃO À VÁCUO DA AMOSTRA 2- PRIMER + SOLVENTE.	98
FIGURA 13A: FRACTOGRAMA OBTIDO PARA O PICO 1 (ETANOL).	98
FIGURA 1B: TERMOGRAVIMETRIA EM AR DA AMOSTRA 1 (VERNIZ UV + SOLVENTE) SEM QUALQUER TRATAMENTO.	100

FIGURA 2B: TERMOGRAVIMETRIA EM AR DA BORRA OBTIDA PELA DESTILAÇÃO DA AMOSTRA 1- VERNIZ + SOLVENTE.....	101
FIGURA 3B: DSC EM NITROGÊNIO DA BORRA OBTIDA PELA DESTILAÇÃO DA AMOSTRA 1 VERNIZ + SOLVENTE	102
FIGURA 4B: TERMOGRAVIMETRIA EM AR DA AMOSTRA 3- MISTURA DE RESÍDUOS SEM QUALQUER TRATAMENTO.	103
FIGURA 5B: TERMOGRAVIMETRIA EM AR DA BORRA RESULTANTE DA DESTILAÇÃO DA AMOSTRA 3- MISTURA DE RESÍDUOS.....	104
FIGURA 6B: DSC EM NITROGÊNIO DA BORRA RESULTANTE DA DESTILAÇÃO DA AMOSTRA 3- MISTURA DE RESÍDUOS.....	105

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1. CARACTERÍSTICAS DOS PÓLOS MOVELEIROS NO BRASIL.....	18
TABELA 2.2: DADOS GEOPOLÍTICOS DE UBÁ.	21
TABELA 2.3. QUANTITATIVO MÉDIO DOS RESÍDUOS GERADOS NO PÓLO MOVELEIRO DE UBÁ.	30
TABELA 2.4. PRINCIPAIS INSUMOS QUÍMICOS USADOS NA INDÚSTRIA DE TINTAS.	33
TABELA 4.1: PRODUTOS QUÍMICOS UTILIZADOS NA LINHA DE PINTURA DA EMPRESA CELMÓVEIS.	60
TABELA 4.2: RENDIMENTO DOS PROCESSOS DE DESTILAÇÃO.	62
TABELA 4.3: ÍNDICE DE REFRAÇÃO PARA O PRODUTO DA DESTILAÇÃO SIMPLES.	63
TABELA 5.4: MEDIDA DO ÍNDICE DE REFRAÇÃO PARA A DESTILAÇÃO FRACIONADA.	63
TABELA 4.5: MEDIDA DO ÍNDICE DE REFRAÇÃO PARA A DESTILAÇÃO Á VÁCUO.	64
TABELA 4.6: FÓRMULA ESTRUTURAL E DADOS FÍSICO-QUÍMICOS DOS SOLVENTES PRESENTES NO RESÍDUO. ...	65
TABELA 4.7: PODER DE LIMPEZA DO SOLVENTE RECUPERADO, EM RELAÇÃO AO <i>THINNER</i>	74
TABELA 4.8: PODER DE LIMPEZA DO SOLVENTE RECUPERADO EM RELAÇÃO AO SOLVENTE À BASE DE ACETONA.	74

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas

APL- Arranjo Produtivo Local

CG- Cromatografia Gasosa

CG-MS- Cromatografia Gasosa Acoplada ao Espectrômetro de Massa.

COVs- Compostos Orgânicos Voláteis

DSC- *Differential Scanner Calorimetry* (Calorimetria Exploratória Diferencial)

FIEMG- Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais.

FSH- Hormônio Folículo Estimulante

ICEB- Instituto de Ciências Biológicas

IEL- Instituto Euvaldo Lodi

INTERSIND- Sindicato das Indústrias de Marcenaria de Ubá e Região.

MDF- *Medium Density Fibercoat*

PE- Ponto de Ebulição

SEBRAE- Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

SENAI- Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

SGA- Sistema de Gestão Ambiental

SPILs- Sistemas Produtivos e Inovativos Locais

TG- Termogravimetria

UFMG- Universidade Federal de Minas Gerais

UV- ultravioleta

RESUMO

O setor industrial de móveis utiliza uma diversidade de matéria-prima e insumos químicos e, conseqüentemente, gera diferentes tipos de resíduos. A indústria tem buscado a otimização do seu processo de produção, tanto econômica quanto ambiental por meio da implantação de sistemas de gerenciamento dos seus resíduos, compreendendo medidas de minimização, reaproveitamento, reciclagem, de tratamento e disposição correta de seus resíduos. Entre os principais resíduos sólidos da indústria moveleira encontram-se os resíduos do processo de pintura, onde a tinta impregnada com solvente é descartada durante a limpeza dos equipamentos da linha de pintura de móveis. Estes resíduos são classificados, quanto à periculosidade, como resíduos Classe I, perigosos, e vem sendo dispostos inadequadamente no meio ambiente de forma a causar impactos negativos nos recursos solo e água, ou queimados de forma inapropriada. Nas indústrias de móveis de médio e grande porte, o volume gerado destes resíduos é bem significativo, por ser a pintura o acabamento padrão. O presente trabalho avaliou o processo de destilação dos resíduos gerados no processo de pintura de móveis com fins de subsidiar uma forma de gerenciamento ambiental desses resíduos na indústria moveleira, especificamente no Pólo Moveleiro de Ubá, Minas Gerais. Os melhores resultados de recuperação de solvente foram alcançados pela destilação à vácuo, comparada aos outros dois tipos de destilação utilizados, mostrando uma eficiência superior a 80% em massa. Comprovou-se, através de análises do índice de refração e pela CG-MS, que o solvente recuperado constitui-se em uma mistura de diferentes solventes, sendo identificados os componentes essenciais para a formação de solventes de limpeza. Quanto à borra de tinta que é gerada na destilação, aponta-se o seu uso para a fabricação de uma tinta secundária, por esse material possuir em sua estrutura compostos necessários na fabricação de tinta. A segregação dos resíduos de tinta na fonte geradora se mostrou importante por refletir no maior rendimento do processo de recuperação de solvente por destilação.

ABSTRACT

The furniture industry processes use a diversity of raw materials and chemicals, and therefore generate different types of residues. The industry is seeking for environmental and economical improvements by implementing waste management systems in order to minimize, reuse, recycle, treat and dispose properly its residues. One of the most important residues of the furniture industry is generated in the painting processes, where paint impregnated with solvents are normally discharged after equipment cleaning. According to the Brazilian legislation this type of residue is classified as Class 1 – considered to be dangerous. The volume of this waste can be significant high particularly in large production furniture mills. The present work evaluated the distillation process of this type of waste generated in a mill located at the industrial park of Uba, MG, Brazil in order to recover the solvents and the residual solid paint. It was carried out experiments with simple, fractionated and vacuum distillation. The best results for solvent recovery were achieved by vacuum distillation (80%). Analyses of the composition of the recovered solvent showed that it is compired by a mixture of different solvents. The distillation residue showed a potential for reuse as a “secondary paint”. The results showed a technical viability of this process enabling partial recovery of the solvents and the paint.

1 INTRODUÇÃO

As indústrias de móveis abrangem diversos setores da economia. Mesmo apresentando considerável crescimento no panorama nacional, no nível internacional se mostra ainda incipiente. Fatores diversos, dentre os quais se destacam a baixa modernização dos equipamentos, a informalidade de muitas empresas, a falta de profissionais qualificados atuando nas fábricas, a falta de pesquisas e inovações tecnológicas e, sobretudo, a garantia de um móvel produzido de forma ambientalmente sustentável contribuem para a baixa expressividade internacional da indústria moveleira do Brasil.

Desenvolvimento industrial e gerenciamento ambiental caminham inseparáveis, uma vez que hoje, produção sustentável e a minimização dos impactos ambientais se refletem na competitividade da empresa dentro do mercado. A produção mais limpa se torna cada vez mais necessária, não apenas pela fiscalização de órgãos ambientais e governamentais, mas também pela pressão de uma sociedade civil informada e organizada e, sobretudo pelo *marketing* ambiental, fundamental para o processo de certificação e licenciamento ambiental de uma empresa.

Neste contexto, estão inseridas as indústrias de móveis, um forte consumidor de recursos naturais com potenciais renováveis e gerador de uma quantidade diversa de resíduos que tem buscado o melhor desempenho do seu processo de produção, tanto econômica quanto ambientalmente. Tal tipologia apresenta condições de implantação de sistemas de gerenciamento dos seus resíduos, compreendendo medidas de minimização, reaproveitamento, reciclagem e de tratamento dos mesmos.

Em Minas Gerais, no maior pólo moveleiro do Estado, localizado em Ubá e região, também conhecido como Arranjo Produtivo Local (APL) de móveis de Ubá, vem trabalhando em busca de soluções ambientais integradas, visando avaliar os resíduos gerados e as possíveis formas de valorização dos mesmos, já que o gerenciamento de resíduos é realizado individualmente pelas empresas, o que dificulta a modernização do Pólo, a padronização do projeto e a adequação ambiental.

Dos resíduos gerados nas indústrias de móveis de madeira e/ou derivados, há uma especial preocupação com aqueles procedentes do processo de pintura, uma vez que

utilizam produtos químicos que possuem características tóxicas tanto ao homem quanto ao meio ambiente. Isso ocorre em duas etapas distintas: a primeira relacionada ao acabamento propriamente dito do móvel, nas cabines de pintura, onde se utilizam tintas, vernizes, catalisadores, solventes orgânicos, dentre outros produtos considerados perigosos; e a segunda na limpeza das máquinas de pintura, dado a necessidade de utilização do mesmo equipamento (linha de pintura) para pinturas em cores distintas.

O processo de limpeza das máquinas de pintura na indústria moveleira é, normalmente, baseado na utilização de solventes orgânicos, gerando, neste processo, um resíduo composto pelo solvente e o material por este extraído. Esses resíduos são enquadrados como resíduos Classe I, de acordo com a norma ABNT NBR- 10004/2004, sendo considerados resíduos perigosos.

Esses compostos, quando lançados indiscriminadamente no meio ambiente, podem causar problemas de contaminação ambiental no solo e nas águas, tanto superficiais como subterrâneas e, problemas de ordem ocupacional, pela aspiração dos vapores de sua evaporação (COVs- compostos orgânicos voláteis) e por sua absorção cutânea.

A recuperação desses resíduos é fundamental para essas empresas nos aspectos econômicos e ambientais. Deve-se observar que o não uso dessas práticas pode acarretar, geralmente, um maior custo em termos de tratamento de efluentes e desperdício de um material que poderia ser reaproveitado.

O desenvolvimento de estudos visando à reciclagem (ou reutilização) dos resíduos representa uma alternativa capaz de contribuir para a utilização de matérias-primas alternativas, diminuindo os custos finais dos setores industriais geradores e consumidores dos resíduos, além de preservar o meio ambiente. Nesse sentido, com base no volume de resíduo gerado nas linhas de pintura de móveis e nos danos ambientais provenientes de seu descarte inadequado, este trabalho tem como proposta a busca de tecnologias apropriadas e mais limpas, capazes de promover a recuperação do solvente contido nesse material, promovendo seu retorno para a linha de produção, e a reutilização da borra de tinta, refugo deste processo. Com isso, pretende-se subsidiar uma proposta de gerenciamento dos resíduos na indústria moveleira, especificamente no Pólo Moveleiro de Ubá, promovendo o comprometimento deste com o meio ambiente,

reduzindo custos e prejuízos ambientais relativos ao tratamento e/ou disposição final desses resíduos.

1.1 Objetivo geral

Avaliar a recuperação do resíduo gerado nas linhas de pintura de móveis de madeira através do processo de destilação, subsidiando uma proposta de gerenciamento dos resíduos na indústria moveleira, especificamente no Pólo Moveleiro de Ubá.

1.2 Objetivos específicos

- quantificar e caracterizar os resíduos de tinta gerados nas linhas de pintura de móveis de madeira;
- avaliar os processos de destilação, simples, fracionada e à vácuo, na recuperação de solventes do resíduo gerado nas linhas de pintura de móveis de madeira;
- caracterizar os subprodutos do processo de destilação do resíduo gerado nas linhas de pintura de móveis de madeira, ou seja, o solvente recuperado e a borra de tinta;
- avaliar a influência da segregação do resíduo de tinta do processo de pintura de móveis na recuperação do solvente e da borra de tinta;
- avaliar a estabilidade térmica do resíduo de tinta gerado na linha de pintura de móveis de madeira.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Panorama do Setor Moveleiro

Gorini (2002) caracteriza a indústria moveleira como uma reunião de vários processos de produção que envolve diferentes matérias primas e os mais diversificados produtos finais. A indústria de móveis pode ser classificada de acordo com os móveis confeccionados (madeira e metal), de acordo com o uso destinado do produto (residencial, escritório, etc). Considerando o mercado, as empresas podem se especializar em cozinha e banheiro, estofados, e outros segmentos domésticos e industriais.

A madeira utilizada como matéria prima é oriunda tanto de florestas nativas quanto plantadas que abastecem serrarias e indústrias de painéis. A madeira maciça pode ser serrada ou torneada, verde ou seca, ao ar ou em estufa. Para Gorini (2002), o surgimento de novas tecnologias para o aproveitamento de resíduos provenientes do beneficiamento da madeira permitiu o desenvolvimento de materiais como o aglomerado, a chapa de fibra dura e as chapas de madeira de média densidade, MDF (*Medium Density Fibercoat*), chapas de boa capacidade de usinagem e resistência mecânica, com densidade inferior à da madeira, o que permite a flexibilidade e o aumento e padronização dos móveis produzidos.

De acordo com ABIMÓVEL (2005) e Gorini (2002), uma forte característica do setor moveleiro é a predominância de pequenas e médias empresas atuando em um mercado segmentado, intensivo em mão-de-obra e com baixo valor agregado comparado a outros setores. A demanda por móveis, também segmentada, varia de acordo com o poder aquisitivo da população e o setor se torna muito sensível às variações econômicas. As famílias disponibilizam entre 1 a 2% de sua renda para gastos com móveis.

Uma vez que não apresenta processo produtivo contínuo, a modernização do setor muitas vezes acontece apenas em algumas etapas da produção e é comum encontrar máquinas modernas junto a equipamentos obsoletos.

De acordo com Gorini (2002), diversos fatores têm contribuído para a evolução da indústria moveleira. Entre eles, a introdução de equipamentos automatizados, o aumento da horizontalização da produção, ou seja, a presença de muitos produtores especializados em componentes para a indústria de móveis, e a introdução de novas matérias primas, que tiveram grande influência sobre o mercado consumidor, favorecendo sua expansão.

Essa mudança repentina levou à massificação do consumo de móveis. A reposição de móveis por parte dos usuários, lentamente faz com que este objeto venha perdendo sua característica de bem durável.

O novo estilo de vida do consumidor, que valoriza principalmente o conforto e o *design* abriu o mercado para diferentes tipos de fabricantes. Nos Estados Unidos, que lidera a produção mundial, sendo o principal setor o de móveis para uso residencial, a principal matéria prima é a madeira e o estilo é o casual/funcional, predominando o “faça você mesmo”. Cada vez menos, a figura do montador de móveis se torna necessária. A mobília é projetada para que qualquer pessoa possa montá-la (Gorini, 2002). Em Taiwan, está em expansão a fabricação de móveis de metal, com pequena produção e maior valor agregado.

Na União Européia, o setor de móveis se apresenta com fraco desempenho. Representa apenas 2% do total de produtos manufaturados. O baixo desempenho pode ser explicado pela tendência demográfica estacionária, baixo investimento na construção civil e políticas recessivas para ajuste de finanças. O país que mais se destaca na produção de móveis é a Itália, representando 40% da produção da União Européia.

No âmbito nacional, segundo a Associação Brasileira das Indústrias do Mobiliário (ABIMÓVEL, 2005), as florestas nativas no Brasil são compostas por 64% de florestas densas, 10% de florestas abertas e 26% por outras formas de vegetação. São as florestas densas as mais utilizadas pelas indústrias de processamento mecânico. Sabe-se também que é no território brasileiro que está a maior floresta tropical do mundo. O Brasil se apresenta simultaneamente como o maior produtor e o líder mundial em consumo de madeira tropical. Aqui, a madeira utilizada como matéria-prima na produção de painéis

de aglomerado é proveniente em sua totalidade de florestas plantadas. Os estados que se destacam no plantio de madeira, principalmente de Pinus são o Paraná, Santa Catarina, Bahia e São Paulo. O plantio de eucalipto está concentrado na região Sudeste, sobretudo em Minas Gerais.

Segundo a ABIMOVEL (2005), o setor moveleiro no Brasil é composto por mais de 15.000 micro, pequenas e médias empresas, gerando mais de 189.000 empregos. São empresas familiares e majoritariamente de capital nacional. Considerando o segmento de móveis para escritório, percebe-se interesse de empresas estrangeiras em ingressar no mercado nacional. O setor está localizado em sua maioria na região centro-sul do país, e em alguns estados formam-se verdadeiros pólos moveleiros, como mostra a Tabela 2.1.

Tabela 2.1. Características dos pólos moveleiros no Brasil.

Pólo moveleiro	Estado	Empresas	Empregados	Principais mercados
Ubá	MG	310	3150	MG, SP, RJ, BA e exportação
Bom Despacho	MG	117	2000	MG
Linhares /Colatina	ES	130	3000	SP, ES, BA e exportação
Arapongas	PR	145	7430	Todos os estados e exportação
Votuporanga	SP	85	7400	Todos os estados
Mirassol	SP	210	7000	PR, SC, SP e exportação
Tupã	SP	85	700	SP
São Bento do Sul	SC	230	11000	PR, SC, SP e exportação
Bento Gonçalves	RS	340	10000	Todos os estados e exportação
Lagoa Vermelha	RS	60	1800	RS, SP, PR, SC e exportação

Fonte: ABIMOVEL, 2005

Consenso entre vários autores (Silva *et al.*, 2006; ABIMOVEL, 2005; Silva e Câmara, 2004), as duas principais características da indústria de móveis no Brasil são o elevado número de micro e pequenas empresas e grande absorção de mão-de-obra. Ainda assim, seu faturamento no ano de 2003 segundo ABIMOVEL (2005), foi da ordem de 9 bilhões de reais, dos quais 60% representavam os móveis residenciais, 25% os móveis de escritório e 15% os móveis institucionais, escolares, médico-hospitalares, móveis

para restaurante, hotéis e similares.

Em 2003, segundo ABIMOVEL (2005), o Brasil ocupava a 10^a posição tanto na produção mundial de móveis quanto no consumo; a 24^a posição em exportação e a 35^a em exportação de móveis. Apesar das mudanças que vem ocorrendo no setor moveleiro, ele ainda se contrasta com o padrão internacional, sobretudo com relação à difusão de tecnologia de ponta e à verticalização da produção.

Na década de 90, as indústrias investiram na renovação da tecnologia. Entretanto, a maioria das indústrias não se especializou em produzir partes, componentes e produtos semi-acabados para móveis. Para Nahuz (2005), uma das principais características do setor é a informalidade. Essa informalidade promove ineficiências em toda a cadeia produtiva, dificultando a implantação de normas técnicas que possam padronizar os móveis, suas partes e componentes.

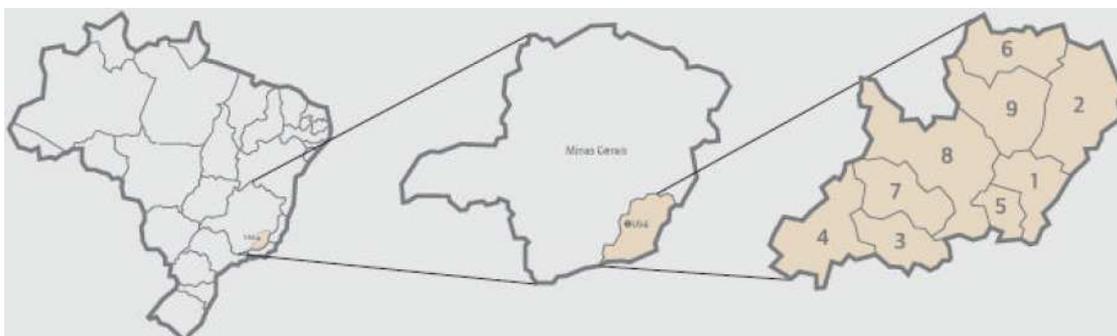
Segundo Gorini (2002), a difusão de novas matérias primas, como as madeiras reflorestáveis é dificultada por diversos fatores, entre eles, o fácil acesso às florestas nativas; a carência de fornecedores especializados no plantio de madeira; baixos investimentos no projeto e no *design* moveleiro; e a falta de interação entre a indústria moveleira e o consumidor final.

2.2 O Pólo Moveleiro de Ubá

O maior pólo moveleiro de Minas Gerais está localizado em Ubá e região e também é conhecido como Arranjo Produtivo Local de móveis de Ubá (APL-Ubá)¹.

¹ Segundo Enderle *et al* (2005), os APL constituem conjuntos de agentes econômicos, políticos e sociais, desenvolvendo atividades econômicas correlatas e que apresentam vínculos de produção, interação, cooperação e aprendizagem, no entanto não se verifica significativa articulação entre os agentes. O APL se delimita pelo número significativo de empresas envolvidas em uma atividade específica que interagem segundo os mais variados fatores econômicos e sociais.

A região do APL de Ubá representa um dos maiores pólos moveleiros do país. Geograficamente, está localizado na região sudeste do estado, na Zona da Mata Mineira (Figura 2.1). De acordo com o censo de 2000, o município de Ubá, o mais representativo da região, apresentava uma população de 85.065 habitantes, dos quais 90,15% encontravam-se na zona urbana e 9,85% na zona rural. A população economicamente ativa é de 45% do total. As principais cidades envolvidas no arranjo produtivo são: Visconde do Rio Branco, São Geraldo, Tocantins, Piraúba, Rio Pomba, Rodeiro e Guidoal. Além dessas, outras cidades compõem a microrregião de Ubá. São elas: Astolfo Dutra, Divinésia, Dolores do Turvo, Guarani, Guiricema, Merçês, Senador Firmino, Silverânia e Tabuleiro.



Fonte: Nunes *et al.* (2008)

Figura 2.1. Localização do Pólo Moveleiro de Ubá.

A Tabela 2.2 mostra alguns dados geopolíticos de Ubá de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2008).

A origem do Pólo Moveleiro de Ubá, principal responsável pelo desempenho do PIB ocorreu na década de sessenta, quando se iniciou a fabricação de móveis residenciais em série. O arranjo produtivo se desenvolveu com o estímulo de seus próprios empreendedores, em um processo de criação de indústrias a partir de outras. Esse fato se relaciona com uma empresa de grande porte na época, a Dolmani. Essa empresa chegou a empregar 1.200 pessoas na década de setenta. Pelas informações locais, após o fechamento da Dolmani em meados de 1970, alguns de seus empregados decidiram iniciar negócios próprios, utilizando o conhecimento adquirido na empresa. Isso se confirma pelo Censo Econômico, que em 1970, relatou que 25 novas empresas foram registradas na região, e, em 1980, o número subiu para 72 empresas registradas no município de Ubá.

Tabela 2.2: Dados geopolíticos de Ubá.

Parâmetros	Valores:
Área	407.699 km ²
População	98.423 habitantes
Densidade	231,5 hab/km ²
Altitude	338m
IDH	0,773
PIB per capita	R\$ 7.199,91 (IBGE 2007)
PIB	R\$ 678.434.000,00 (IBGE 2007)
Assalariados na região	9.274

Fonte: IBGE, 2008.

O Pólo Moveleiro de Ubá responde pela a principal geração de empregos na indústria moveleira de Minas Gerais. Segundo Silva *et al.* (2006), havia 7048 empregos em 2001, sendo 5.608 gerados em fábricas de móveis com predominância em madeira. Considerando o período entre 1994 a 2001, a microrregião de Ubá apresentou uma taxa de crescimento de 28,83% no número de estabelecimentos moveleiros.

A produção do Pólo Moveleiro de Ubá se destina ao próprio Estado de Minas Gerais, seguido pelo Rio de Janeiro e Espírito Santo. Existem algumas empresas que já realizam exportações, enquanto outras estão planejando e se adequando para este processo. Hoje existe a MOVEXPORT, um consórcio de exportação que tem contribuído para desempenho positivo da balança comercial de Minas Gerais, inserindo os produtos do APL de Ubá e Região no panorama internacional.

As indústrias de móveis de Ubá e Região, segundo Crocco *et al.*, (2001), nos últimos anos, adotaram estratégias baseadas em novos produtos, novos processos de produção e também novos mercados. No futuro, os empresários se comprometerão a investir mais em *design* e em *marketing*, elementos essenciais para a competitividade no mercado nacional e internacional.

De acordo com Venzke (2002), a falta de uma política ambiental voltada para o setor moveleiro, promove uma perda de competitividade nos mercados externos. Assim, torna-se necessário a modernização e o fortalecimento de toda a cadeia produtiva do setor, tendo em vista as questões ambientais, para que sejam alcançados níveis de desenvolvimento compatíveis com esses mercados.

A microrregião de Ubá se destaca não apenas pelo seu grande número de estabelecimentos e potencial geração de empregos. Destaca-se também pelo envolvimento dos empresários locais e agentes voltados ao desenvolvimento regional e industrial, em parcerias com o Sistema FIEMG, ou seja, com o Instituto Euvaldo Lodi (IEL) e o SENAI-MG, além de parcerias com o SEBRAE e participação no Sindicato Intermunicipal das Indústrias do Mobiliário de Ubá, INTERSIND.

Com isso, o pólo tem se tornado ainda mais atrativo, e importante alvo de ações que visem desenvolver a economia de Minas Gerais. Destacam-se ainda parcerias com as Universidades Federais de Viçosa, Juiz de Fora, Lavras e Ouro Preto, que elaboram projetos de pesquisa para o desenvolvimento do pólo.

2.3. Gerenciamento de resíduos sólidos na indústria de móveis

A Associação Brasileira de Norma Técnicas, por meio da NBR 10004 de 2004 (ABNT, 2004), define os resíduos sólidos como todos os resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornam inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

De acordo com Gilbert (2000), o gerenciamento dos resíduos sólidos consiste no monitoramento constante e macro do fluxo do resíduo no processo, identificando as

melhores práticas ambientais para desenvolvimento desse processo. Esse sistema de gestão deve ser baseado na identificação e classificação do resíduo, geração, acondicionamento, armazenamento, transferência e transporte, reaproveitamento, reciclagem, recuperação, tratamento e disposição final, de acordo com os melhores princípios de preservação da saúde pública, economia, engenharia, conservação dos recursos, e outros princípios ambientais.

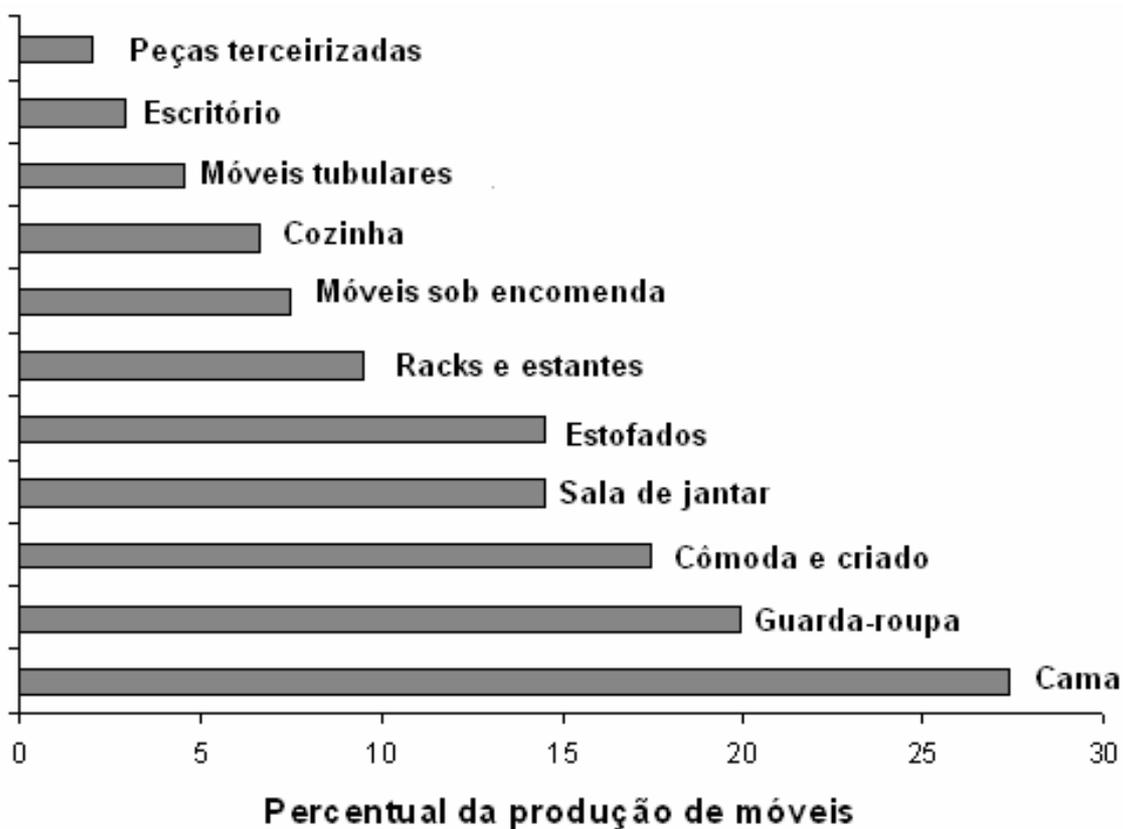
Neste programa de gerenciamento, a minimização de resíduos constitui uma estratégia importante e se baseia na adoção de técnicas que possibilitem a redução do volume e/ou toxicidade dos resíduos e, conseqüentemente, de sua carga ou potencial poluidor.

A diversidade de matéria prima utilizada na indústria moveleira implica em uma diversidade de resíduos que podem ser gerados. Isto torna complexa a questão do gerenciamento de resíduos do setor moveleiro. O maior obstáculo à gestão, reciclagem ou reuso e sua adequada disposição, é exatamente a complexa mistura destes resíduos, considerando suas diferentes dimensões, graus de limpeza ou contaminação. Segundo Nahuz (2005), estima-se que no Brasil a porcentagem de empresas do setor moveleiro que apresenta algum trabalho de conservação ambiental ou planejamento da disposição final do resíduo não chega a 5%.

Estudos realizados por Silva *et al.* (2006) e Nunes *et al.* (2007), a maioria das empresas na microrregião de Ubá não detém um sistema de gestão ambiental capaz de associar eficiência na produção com adequação ambiental, isto é, o gerenciamento ambiental ainda é incipiente. Na região não existe um sistema integrado de gerenciamento de resíduos sólidos, apenas algumas empresas realizam isoladamente uma destinação correta dos resíduos sólidos, o que dificulta a modernização do pólo, a padronização do processo e a adequação ambiental de todas as empresas. Muitas indústrias, principalmente aquelas de pequeno porte, não possuem nem mesmo gerenciamento ambiental de seus resíduos, lançando-os muitas vezes diretamente no ambiente sem considerar os impactos causados por essas ações e negligenciando o potencial econômico deles. No entanto, o Pólo Moveleiro de Ubá vem trabalhando em busca de soluções ambientais integradas através do INTERSIND, desenvolvendo projetos visando à adequação ambiental das empresas do pólo, principalmente no controle e gerenciamento os resíduos industriais e na melhoria da qualidade do produto.

2.3.1 Processo produtivo e geração de resíduos na indústria moveleira

Vários segmentos compõem a indústria moveleira. O Pólo Moveleiro de Ubá apresenta uma grande diversidade em sua linha de produtos. Os que mais se destacam são as indústrias de móveis de madeira e seus derivados, móveis tubulares, estofados, colchões e acessórios para móveis. A Figura 2.2 mostra a ocorrência percentual dos tipos de móveis produzidos em Ubá e região.



Fonte: ABIMOVEL (2005).

Figura 2.2: Principais linhas de produção de móveis de Ubá.

Segundo Nahuz (2005), uma das grandes preocupações da indústria moveleira é otimizar o uso de matérias-primas e componentes, pois são estes itens que têm grande peso no custo final do produto. Em média, 45% do valor final do produto consistem de matérias-primas. O planejamento do design e da produção de móveis deve maximizar seu aproveitamento e gerar o mínimo de resíduos. Esta tendência se repete com relação a outras matérias primas e componentes, o que resulta no volume relativamente baixo de resíduos que a indústria moveleira gera.

O processo de fabricação de móveis, variando o volume e a natureza, gera não apenas resíduos sólidos, mas também emissões atmosféricas e efluentes líquidos.

Nahuz (2005) descreve os principais produtos utilizados no processo de fabricação de móveis:

- madeira maciça e painéis derivados (compensados, aglomerados, chapas duras e MDF- *medium density fiberboard*), em todas as formas, sem acabamento ou revestidos;
- lâminas de madeira ornamentais, lâminas com impressão de diferentes padrões, laminados plásticos, compósitos de diferentes materiais e resinas;
- metais, principalmente aço, alumínio e latão, com diferentes acabamentos, fosco ou brilhante, em peças aparentes, de superfície ou montantes, ou ainda como componentes: trilhos, deslizadores, puxadores, dobradiças e fechaduras;
- produtos químicos: colas, tintas e vernizes para o acabamento de superfícies;
- plásticos, na forma de fitas de borda, puxadores, deslizadores, peças de fixação, plástico de injeção ou extrusão;
- vidros e cristais;
- tecidos e couros, naturais e sintéticos;
- pedras ornamentais, como mármore e granito.

Silva *et al.* (2006) classifica e caracteriza os resíduos sólidos gerados na fabricação de móveis:

- resíduos constituídos de pó, serragem e cavacos de madeira;
- resíduos de laminados e aglomerados;
- resíduos contendo solventes, vernizes, restos de tinta e laca, borras de lavagem;
- resíduos de espuma, couro, plástico, tecido, etc.;
- borras do processo de tratamento de materiais metálicos;
- lodos das estações de tratamento de efluentes.

No pólo moveleiro de Ubá os resíduos das categorias citadas acima foram identificados. Para os resíduos constituídos de pó, destacam-se o cepilho (aparas provenientes da plaina) e a serragem, pó fino (10 a 40 μm) e pó grosso (50 a 100 μm), material particulado proveniente das unidades de pré-corte, desbaste, revestimento, usinagem,

lixamento, sendo este recolhido pelos exaustores e demais equipamentos de controle de emissões atmosféricas. Segundo Lima (2005), o pó de serra de aglomerado e o MDF vêm sendo incinerados no Brasil.

Os resíduos de material plástico incluem as borras plásticas do processo de injeção, filmes, laminados, espumas e componentes com defeito, como puxadores, molduras e fitas. Os resíduos metálicos compreendem restos de chapas de aço, tubulares de aço, e componentes como puxadores, dobradiças e corrediças. Os resíduos provenientes do processo de recobrimento de estofados englobam retalhos de material têxtil, couros naturais e artificiais, percintas, espumas.

Os resíduos contendo pó, serragem, espuma, couro, laminados e aglomerados e materiais metálicos são classificados como Classe II A (não inertes), segundo a NBR 10.004 (ABNT, 2004). Resíduos de chão de fábrica incluem os materiais recicláveis como os papéis, principalmente o papelão e o papel fino; os metais; alguns vidros e plásticos. As fábricas de móveis metálicos geram a borra no processo de fosfatização. Essa borra pode conter substâncias como NaOH, Na₂SiO₃, Na₃PO₄ e Na₂CO₃, Zn, Ni, H₃PO₄, HNO₃.

Dada a periculosidade de alguns componentes dos resíduos da indústria moveleira, sua disposição no meio ambiente pode ocasionar contaminação do solo, através da liberação de compostos químicos agregados à madeira e seus derivados. Além disso, os depósitos de resíduos de madeira constituir-se-ão em atração para insetos xilófagos (térmitas ou cupins), que se alimentam de celulose. Estes, por sua vez funcionarão como focos de atração e disseminação desses insetos, facilitando a contínua infestação da área ou da edificação (Lelis *et al.*, 2001).

O resíduo de tinta impregnado com solvente da limpeza da linha de pintura de móveis é classificado, quanto à periculosidade, de acordo com a ABNT (2004) como resíduos Classe I - Perigosos e o volume gerado nas indústrias de móveis de produção retilínea é bem significativo, por utilizarem a pintura como padrão de acabamento. Este resíduo é disposto inadequadamente no meio ambiente de forma a causar impactos negativos nos recursos solo e água, ou queimados de forma inapropriada.

As emissões atmosféricas referem-se, no caso da indústria moveleira, principalmente ao material particulado. Este material inclui partículas liberadas em diferentes etapas dos processos industriais de produção, como por exemplo, o lixamento da madeira ou das chapas, que podem estar recobertas ou não por diferentes tipos de acabamento, com produtos químicos como seladores, vernizes e tintas. Estima-se que apenas uma proporção de 13% a 15% das plantas industriais possua sistemas de exaustão central para captação de pó de serra, plaina e lixa (Nahuz, 2005).

As emissões atmosféricas das indústrias moveleiras podem apresentar efeitos mais sérios em termos de impacto ambiental. O material particulado emitido pelos processos de incineração de aparas, serragem, cepilho e outros resíduos da indústria moveleira além de provocar ou agravar doenças respiratórias, pode conter dioxinas, furanos e outros compostos prejudiciais à saúde humana, além daqueles metais que são emitidos para a atmosfera acima de certos níveis, que podem apresentar um sério potencial cancerígeno (D'Almeida e Vilhena, 2000).

A Figura 2.3 mostra um fluxograma da cadeia produtiva de móveis de madeira e a geração de resíduos em cada etapa. Entre os diversos insumos e matérias-primas utilizados no Pólo Moveleiro de Ubá, os produtos químicos têm grande importância.

Um dos principais problemas ambientais advindos das indústrias de móveis está no uso de solventes orgânicos. Segundo Nahuz (2005), Cozzani *et al.* (1999), Lunghi *et al.* (1998) entre outros autores, os solventes orgânicos são utilizados pelos fabricantes de móveis em várias etapas da produção, desde a dissolução de tintas e outros insumos utilizados no processo até a limpeza de equipamentos. Esses solventes em geral apresentam custo elevado. Eles pertencem a um grupo dos COVs, que apresentam risco tanto à saúde quanto ao meio ambiente.

Além dos solventes orgânicos, diversos tipos de produtos químicos são utilizados, como adesivos, colas, catalisadores, retardadores, naturais e sintéticos. Muitos deles são tóxicos e podem causar irritação na pele e nas membranas da mucosa, metamoglobinemia, cianose, etc. Estes produtos são considerados produtos perigosos conforme Portaria MT 204, de 20 de maio de 1997, e os resíduos de processo ou de derrames são classificados como Classe I (perigoso) pela Associação Brasileira de

Normas Técnicas na NBR 10004/04. Esses produtos apresentam efeitos ambientais, comportamentos diversos, como mobilidade e potencial de bioacumulação.

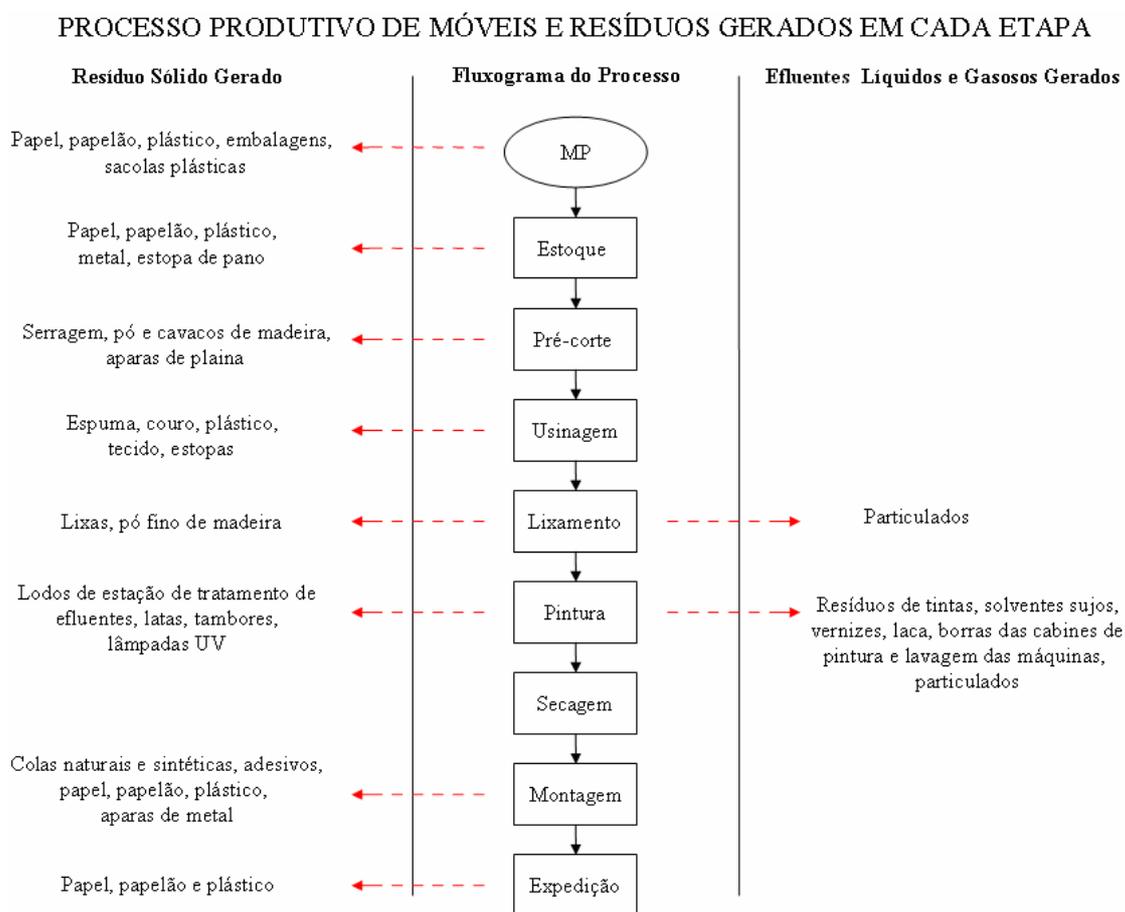


Figura 2.3.: Fluxograma da produção de móveis e geração de resíduos em cada etapa.

Silva *et al.* (2006) destacam os seguintes produtos utilizados como insumos químicos no pólo moveleiro de Ubá:

- retardador para poliuretano (PU)- a base de 2-etoxietil acetato, faixa de concentração de 80 a 100%; líquido inflamável, não miscível em água, com risco de toxicidade dos vapores;
- cloreto de metileno grau técnico, ou dicloreto de metila (concentração 99,9%)- líquido incolor, odor etéreo e penetrante, irritante, produto perigoso, não inflamável;
- catalisador de PU- mistura de octoato de estanho (97%) e ácido 2-etil-hexanóico (3%), líquido fluido, cor amarelo palha, ligeiro odor;
- diluente preparado- mistura de solventes, constituído por álcool etílico, dimetilcetona tolueno; líquido inflamável, perigo de toxicidade dos vapores;

- catalisador para PU- líquido inflamável, não miscível em água, parcialmente não degradável, perigo de toxicidade dos vapores ;
- fundo PU, preparado- líquido inflamável, não miscível em água, solúvel em solventes orgânicos, perigo de toxicidade dos vapores;
- tingidor para verniz ultravioleta (UV) castanho- constituído por corante complexo metálico de cromo, dimetilcetona, produto inflamável, não miscível em água, solúvel em solventes orgânicos.

Resíduos contendo solventes incluem as borras geradas na lavagem do maquinário de pintura, nas cabines de pintura com cortinas de água; estopas, tecidos e serragem impregnados, embalagens plásticas e metálicas, latas e tambores contendo restos de tinta, laca ou vernizes e solventes.

Infelizmente, segundo Nahuz (2005), não há dados disponíveis que permitam uma quantificação realista dos resíduos sólidos gerados por indústrias de móveis no Brasil. A Tabela 2.3 mostra a quantificação dos resíduos no pólo moveleiro de Ubá.

2.4. Gerenciamento de tintas e solventes

2.4.1. Tintas

Os principais componentes de uma tinta são: resina, pigmento, aditivo e solvente. A resina é o componente não volátil que atua na aglomeração das partículas de pigmento. É a partir da resina que se denomina o tipo de tinta ou o revestimento empregado. Assim têm-se tintas epoxídicas, alquídicas, acrílicas, etc.

O pigmento é a parte sólida, finamente dividida e insolúvel no meio. Tem a função de atribuir cor, opacidade, além de certo grau de resistência. Os aditivos proporcionam características especiais ou melhoram a qualidade das tintas. São adicionados de acordo com a propriedade a ser ajustada, como fluidez, tixotropia, dispersão, secagem. Eles têm várias funções que lhe atribuem os nomes: secantes, anti-sedimentantes, niveladores, antipele, antiespumante (ABRAFATI, 2005).

Tabela 2.3. Quantitativo médio dos resíduos gerados no Pólo Moveleiro de Ubá.

Resíduos	Quantidade gerada/ mês
Serragem	2.791 m ³
Aparas de Madeira	21.942 m ³
Pó de Madeira	26 m ³
Borra de Lavagem	15.523 L
Borra Cabine Pintura	21.800 kg
Latas	10.553 unid.
Tambores	279 unid.
Lâmpadas UV	136 unid.
Lixa	53.113 unid.
Aparas de Metal	3.794 kg
Plástico	11.505 kg
Tecido	4.015 kg
Estopas	355 kg
Refeitório	1.270 kg
Tinta em pó	13 kg
Espuma	200 kg
Tinta papelão	2.000 kg
Papelão	48.085 kg

Fonte: Silva *et al.*, 2006.

A partir dos anos 70, a preocupação com o meio ambiente deu início a mudanças nos padrões industriais, com a instalação de novas tecnologias, que no ramo de tintas se referiam à diminuição da quantidade de solvente, substituindo-o por água ou mesmo por produtos sem solvente. Uma consequência direta dessas mudanças foi o surgimento de produtos como as tintas com alto teor de sólidos, os sistemas aquosos, as tintas curadas por radiação e o revestimento por bobina.

Segundo Horikawa (2003), as tintas com alto teor de sólidos foram desenvolvidas com o intuito de diminuir a quantidade de COV. Essas tintas apresentam conteúdo de cerca de 60% de sólido por peso. Em sua formulação são utilizadas resinas com menores pesos moleculares, comparadas às resinas tradicionais. Essa mudança gerou a necessidade de se adicionar aditivos que melhorassem a aplicação e/ou o entrecruzamento, formando moléculas maiores, as resinas termorígidas. Entre as mais utilizadas estão as poliuretanas, epóxis, acrílicos e polióis-éster.

As tintas com alto teor de sólidos têm a grande vantagem de apresentar menor emissão de COV, além de utilizarem os mesmos equipamentos que as tintas tradicionais. Entretanto, para melhor utilização desses materiais ainda são esperados avanços nas formulações com solventes ambientalmente aceitáveis, diluentes reativos, novas resinas, blendas poliméricas, entrecruzadores e agentes controladores de fluxo. Além disso, apresentam a desvantagem de ter um difícil controle da espessura e pouca adesão.

As tintas curadas por radiação segundo Horikawa (2003), são formuladas a partir da combinação de monômeros acrílicos, oligômeros e fotoindicadores, cargas, pigmentos e aditivos. Entre as principais vantagens destas tintas tem-se:

- são formulações sólidas que durante o processo de cura não emitem solventes para a atmosfera;
- o solvente tem baixa volatilidade, pois se liga à resina e a perda por evaporação fica em torno de 5%, conferindo à tinta viscosidade constante;
- o processo de aplicação pode ser automatizado;
- a cura é rápida, utiliza menos energia que a cura por feixe de elétrons, e o recobrimento tem excelentes propriedades, não se apresentando muito espesso ou opaco.

Horikawa (2003) aponta como principais desvantagens das tintas curadas por radiação:

- o custo mais elevado do equipamento de cura por radiação se comparado ao equipamento convencional de cura térmica;
- os monômeros utilizados são de alta periculosidade;
- a radiação pode causar formação de ozônio, ou no caso de feixe de elétrons, formar raios X;
- os objetos a serem revestidos devem apresentar geometria simples e plana;

- apresenta baixa adesão às superfícies metálicas.

Segundo ABRAFATI (2005), as tintas à base de água compreendem uma vasta categoria de produtos que têm a água como seu principal componente volátil. O termo reduzível em água é empregado para descrever especificamente as tintas nas quais a viscosidade pode ser alterada pela adição de água. As formulações podem ser classificadas em soluções, dispersões coloidais e emulsões. A variedade de tipos de tinta se deve às diferentes estruturas das resinas poliméricas, que de acordo com suas propriedades podem melhorar a sua eficiência nos ambientes empregados.

2.4.2. Solventes

A ABRAFATI (2005) apresenta a seguinte definição para solventes: *“são produtos usados para solubilizar ou dissolver outros materiais. Em composição de tintas e revestimentos, são geralmente usados para dissolver a resina e manter todos os componentes em mistura homogênea. Eles proporcionam uma viscosidade adequada para que se aplique o revestimento e possuem certas propriedades que permitirão a formação adequada da película de revestimento”*.

Várias propriedades são utilizadas para caracterizar um bom solvente, sendo as mais empregadas o poder de solvência; a taxa de evaporação; ponto de fulgor; estabilidade química; tensão superficial; cor; odor; toxicidade; biodegradação; e relação adequada entre custo e benefício.

Os solventes podem ainda ser classificados de acordo com o poder de solvência, taxa de evaporação; ponto de ebulição; estrutura química e classificação de risco. De acordo com a estrutura química, podem ser hidrocarbonetos (alifático, aromático e terpênico), solventes oxigenados (álcool, cetona, éster, éter glicólico), solventes clorados, e ainda outros como éter e nitroparafina. Os solventes mais usados na indústria de tintas são os hidrocarbonetos e os solventes oxigenados. A Tabela 2.4 mostra alguns dos produtos mais utilizados na fabricação de tintas e seus principais riscos.

Os solventes são incluídos na classe de COVs (Compostos Orgânicos Voláteis). Podem ser naturais ou provenientes de materiais sintéticos. Em geral, se encontram no estado

de vapor ou líquido à temperatura ambiente. Seus principais representantes são os alcanos, alcenos, álcoois, aromáticos, aldeídos, cetonas, e ácidos.

A emissão de poluentes químicos pode afetar ambientes internos de várias formas, interferindo no bem estar e na saúde de trabalhadores, contaminando outros materiais, contribuindo para a descoloração de materiais, se condensam em equipamentos eletrônicos e desprendem forte odor.

Segundo Salazar (2006), os COVs constituem a principal fonte de poluição de ambientes interiores. Em concentrações baixas, as múltiplas exposições a COV podem ser mais prejudiciais que exposições a picos de concentrações isolados. Um dos fatores que dificulta o estudo da exposição ocupacional é a multiplicidade de compostos.

Nas indústrias de móveis, por exemplo, diferentes solventes são usados ao mesmo tempo. Os COVs podem ser aplicados em diferentes materiais, dentre os quais estão os combustíveis, os solventes para tintas, vernizes lacas, colas e pesticidas, produtos para limpeza e secagem de metais e instrumentos, são intermediários de síntese de outros compostos químicos. Isso impede a descrição adequada da relação efeito/dose para a exposição múltipla.

Tsai *et al.* (1997) relatam síndromes neurotóxicas resultantes da exposição ocupacional a solventes orgânicos, que podem variar em função do tipo de material produzido e dos tipos de solventes utilizados.

Lemaster *et al.* (1999) indicam uma significativa associação entre a exposição ocupacional e a queda na contagem de espermatozoides de trabalhadores do setor de pintura de manutenção em aviões. Também observaram diminuição da mobilidade dos espermatozoides, decréscimo na produção do hormônio FSH(hormônio folículo estimulante), maior ocorrência de aborto espontâneo entre as esposas dos trabalhadores estudados, bem como maior ocorrência de má formação congênita de fetos.

Tabela 2.4. Principais insumos químicos usados na indústria de tintas.

Produto	Função	Risco
2,2,4-trimetil-1,3 pentanediol	Coalescente	Produto praticamente não tóxico por inalação.
Aguarrás Mineral (Mistura de hidrocarbonetos saturados e hidrocarbonetos aromáticos)	Solvente	Pode provocar dor de cabeça, náuseas, tonturas e confusão mental. Pode causar irritação da pele e vias aéreas superiores. É depressor do sistema nervoso central.
Butanol	Solvente	Irritante para o sistema respiratório. Pode causar dores abdominais, náuseas, dores de cabeça, perda da consciência e diarreia.
Butilglicol (2-butoxi etanol)	Coalescente	Exposição prolongada a vapores ou névoa do produto pode causar irritação ao nariz, garganta e trato respiratório, dor de cabeça, tontura, sonolência, náusea e danos aos rins e fígado. Pode afetar o sistema nervoso central; tem efeito narcótico.
Hexilenoglicol	Coalescente Co-solvente	Irritante para as vias aéreas, olhos e demais mucosas Ingestão ou inalação de grandes concentrações produz estado de inconsciência. Por inalação causa sonolência, vertigem, dores de cabeça, irritação nasal e da garganta. Pode levar a anemia, leucocitose, edema e degeneração gordurosa das vísceras.
Etanol e isopropanol	Solventes	Exposição prolongada pode causar tosse, deficiência respiratória, vertigens e intoxicação.
Metil etil cetona	Anti-pele	Pode causar irritação nas mucosas e vias respiratórias
Monoetilenoglicol	Coalescente	Névoas ou vapores são irritantes e muito tóxicos.
Octoato de cálcio, zinco, chumbo, cobalto e zircônio	Secantes	Podem causar irritação nas mucosas e vias respiratórias.
Tolueno e Xileno	Solventes	Causa dores de cabeça, náuseas, tonturas e sonolência. Em altas concentrações pode causar perda de consciência e levar à morte. Podem provocar irritação das vias aéreas superiores, irritação ou queimadura local à pele; irritação ou queimadura com eventual lesão à córnea quando em contato com os olhos. Quando inalado pode provocar pneumonia química. Efeitos crônicos: dermatite por ressecamento. Depressores do sistema nervoso central.

Fonte: Salazar (2006).

Segundo Salazar (2006), a Agência Nacional do Petróleo (ANP) foi a primeira a controlar a concentração de solventes na indústria. Este órgão elaborou regulamentação que restringe severamente a fração de hidrocarbonetos aromáticos, bem como cadeias cetônicas que poderiam ser usadas com mistura de solventes, e foi também requerida a reformulação de diversos sistemas, com o objetivo de reduzir a quantidade presente de solventes.

Considerando que os solventes industriais constituem a maior fonte de emissão de COVs, segundo Salazar (2006), muitos benefícios podem vir a partir da redução de seu consumo. Como efeitos mais representativos podem ser citados a redução de custos com a disposição, redução na emissão de solventes para a atmosfera, menor exposição ocupacional, e vantagens de *marketing* atribuídas ao desempenho ambiental. No caso das indústrias moveleiras, BFM (1998) controle do uso de solventes pode ser feito a partir do inventário de solventes, da melhora nos equipamentos de pintura e controle adequado das lavagens.

2.4.3 Estudos sobre solventes

Uma propriedade física muito útil para a determinação da pureza de um solvente é a medida do índice de refração. Esse índice mede a velocidade da luz no solvente relativa à velocidade da luz no ar. O valor encontrado é primariamente determinado pela cadeia principal do hidrocarboneto da molécula do solvente (ABRAFATI, 2005).

Salazar (2006) descreve a Cromatografia Gasosa (CG) como uma técnica utilizada para separação de compostos voláteis, aqueles onde os analitos a serem separados devem apresentar uma pressão de vapor razoável à temperatura utilizada na separação. Assim, à medida que se aumenta o caráter iônico do composto, sua volatilidade diminui, bem como sua possibilidade de ser separado por cromatografia gasosa.

A CG é uma técnica indispensável em trabalhos de recuperação de solventes. Thor Burns e Doolan (2005) e Zieba Palus *et al* (2008) mostram que a CG é usada primariamente para análises comparativas de componentes orgânicos de tintas além de distinguir entre componentes de resinas alquídicas utilizadas na fabricação de tintas. Yuan-Chang Su *et al.* (2008) descrevem a CG como a técnica mais popular para identificação de COV em misturas. Quando acoplada ao espectrômetro de massa (CG-MS), é uma técnica de grande utilidade para identificação e quantificação de misturas complexas.

Outra técnica de grande utilidade em estudos de recuperação de solvente é a Análise

Térmica. Segundo Lunghi *et al* (1998), métodos calorimétricos e termo analíticos são largamente empregados para se compreender as razões pelas quais durante processos de destilação em plantas de recuperação de solventes podem ocorrer explosões.

Segundo Rodrigues e Marchetto (2002), recebe o nome de análise térmica o conjunto de técnicas onde uma propriedade física ou química de uma substância, ou seus produtos de reação são medidos em função do tempo ou da temperatura, enquanto a temperatura e a atmosfera são controladas por um programa monitorado. Segundo ABRAFATI (2005), o princípio da análise termogravimétrica consiste em uma balança sensível inserida em um forno onde a temperatura pode ser controlada, capaz de registrar as alterações no peso da amostra como função de temperatura ou tempo. Dentro do forno é possível ainda controlar a atmosfera, que pode ser reativa, inerte ou, dependendo do que se deseja observar, pode ser alterada durante a análise. Assim, a Termogravimetria (TG) é a técnica que investiga a mudança de massa de uma substância em função da temperatura. Utilizando a técnica de Termogravimetria (TG), é possível determinar a estabilidade térmica do resíduo e também o seu teor de umidade.

Entre as várias aplicações da TG destacam-se: a decomposição de materiais explosivos; o desenvolvimento de processos gravimétricos; destilação e evaporação de líquidos; determinação da umidade, volatilidade e composição de cinzas e o estudo da cinética das reações envolvendo espécies voláteis.

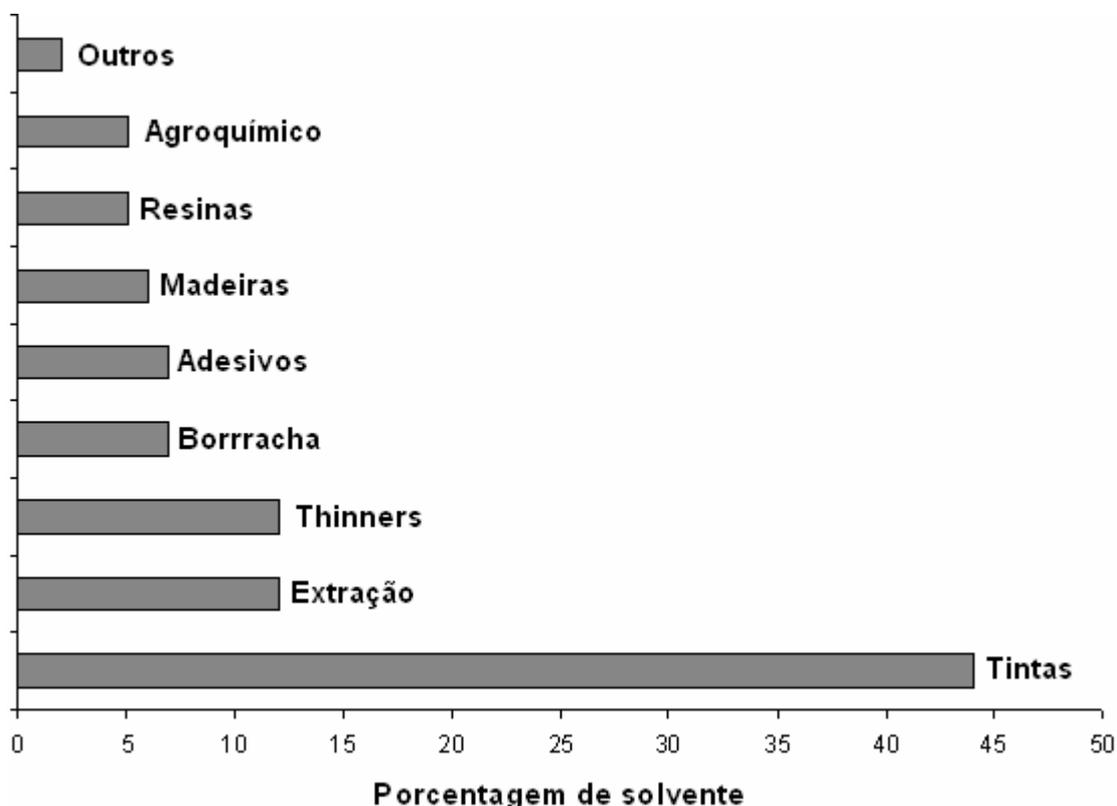
De acordo com Salazar (2006), por meio de Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) é possível estabelecer melhores condições de temperatura para a eliminação dos componentes voláteis e também determinar a temperatura de transição vítrea do material. A DSC é uma técnica de análise térmica na qual mede-se a diferença de energia fornecida ou liberada por uma substância em relação a um material de referência, em função da temperatura, enquanto ambos são submetidos a uma programação controlada de temperatura (Rodrigues e Marchetto, 2002).

2.4.4 Gerenciamento de solventes

Segundo Lau e Koenig (2001), há dois grupos de impactos causados pelos solventes orgânicos. Um grupo inclui as emissões de solventes para a atmosfera e o outro grupo

inclui os danos causados pela fase líquida, que polui a as águas superficiais, as águas subterrâneas, marinhas e o solo.

O consumo anual de solventes em 2006 no Brasil é mostrado na Figura 2.4.



Fonte: Sindsolv, 2006.

Figura 2.4: Consumo de solventes no Brasil.

O gerenciamento de solventes é uma opção sistemática de analisar e controlar o consumo e reduzir os gastos com a compra deste insumo. BFM (1999) apresenta algumas técnicas usadas em programas de gerenciamento de solventes, envolvendo as seguintes técnicas principais:

- identificação do consumo de solvente;
- identificação de quais solventes serão gerenciados e como gerenciar;
- identificar e avaliar planos de controle e gerenciamento;
- implementação dos planos de controle e avaliação de seu impacto.

Segundo Lau e Koenig (2001) e BFM (1999), o primeiro passo para um programa de gerenciamento de solventes é realizar um inventário de solventes. Esse inventário tem

por objetivo quantificar o uso e separar o insumo em outras partes, como *thinners*, seladores e diluentes. Esse processo auxilia na identificação das maiores áreas de consumo dentro da empresa. O inventário envolve:

- total de solventes comprados;
- total de solventes não emitidos, isto é, o solvente destinado para recuperação e reuso;
- emissão total de solventes.

Segundo BFM (1999), em geral não é possível implantar programas de gerenciamento de solventes em todas as áreas da empresa. Algumas medidas que auxiliam a identificação dos setores mais relevantes incluem:

- investigar as discrepâncias entre as quantidades de solvente requisitada para uso e a quantidade apurada no inventário;
- minimizar o consumo usando técnicas simples como determinação da área de armazenamento; controle de temperatura da pintura; treinamento dos operadores; restrição quanto ao uso de *thinners* (mistura de solventes que varia de acordo com o fabricante); realizar pinturas em equipamentos fechados; não descartar o solvente dos processos de lavagem de equipamento; reutilizar o *thinner* sujo e o da pré-lavagem; recuperar os solventes por destilação *in situ*.

Para implementar as medidas de controle e identificar as áreas com melhores chances de melhoria, BFM (1999) propõe as seguintes medidas:

- retorno de informações por parte de todos os envolvidos;
- promover treinamento contínuo dos funcionários;
- incorporar técnicas de recuperação dentro dos processos operacionais;
- sempre aprimorar as técnicas implementadas e promover a reversão dos maus hábitos dos funcionários.

2.5 Gerenciamento de resíduos do processo de pintura de móveis

2.5.1 Resíduo de tinta da limpeza da linha de pintura

Considerando sua periculosidade e os danos ambientais causados, atenção especial deve ser dada aos resíduos provenientes da linha de pintura. O resíduo da cabine de pintura é formado pela precipitação ou floculação da tinta, verniz e demais produtos químicos utilizados no reservatório de água localizado abaixo da cabine de pintura. Segundo Nunes *et al.*, (2007), a água do reservatório da cabine é periodicamente descartada junto à rede de esgoto e/ou cursos de água sem nenhum tratamento.

O resíduo do processo de pintura, constituído por solvente e borra de tinta, foco deste trabalho, é formado a partir da limpeza do equipamento, caracterizando-se por seu odor forte, consistência líquida e volátil. Seus principais constituintes são tinta, verniz, veio, solvente e diluente.

A linha de pintura de uma indústria moveleira compreende um processo contínuo que é muito similar ao da indústria automotiva (Figura 2.6). São utilizadas máquinas em rolos que aplicam fundos, vernizes e tingimentos, sobre painéis calibrados. O processo de pintura baseia-se primeiramente no lixamento da peça. Depois é feito o seu emassamento para corrigir os defeitos com a aplicação de um fundo ou selador que sele os poros, nivele a superfície e promova, se necessário, seu lixamento intermediário, que deixará a superfície mais nivelada. Posteriormente a essa fase o substrato é submetido a camadas de *primer* UV e o veio de impressão que compreende um fundo com pigmento similar ao *design* da madeira. Para finalizar o processo vem a etapa de acabamento que será realizada com aplicação de verniz brilhante ou fosco. A Figura 2.5 apresenta o fluxograma do processo.

A partir do processo de pintura, ocorre a geração do resíduo da limpeza, que, além de ser volátil, possui um forte e desagradável odor, e consistência líquida. Na maioria das vezes, são armazenados em tambores fechados como mostrado na Figura 2.7.

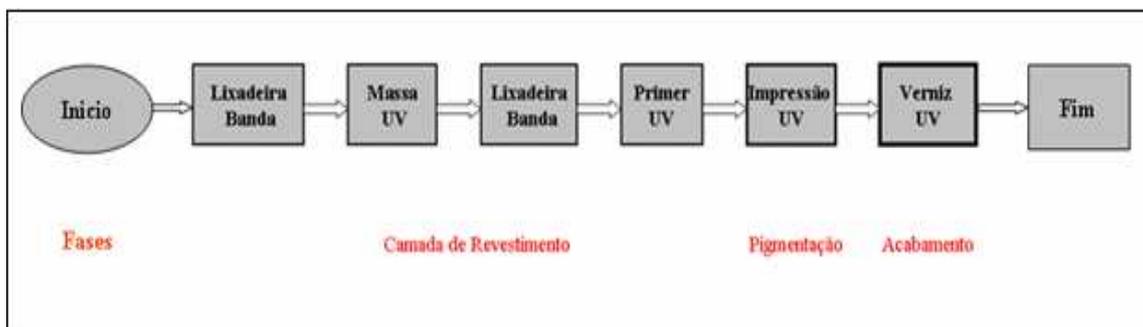


Figura 2.5. Fluxograma da linha de pintura UV.



Figura 2.6. Vista da linha de pintura de móveis.

Esses resíduos constituem-se de diversos produtos químicos, como, verniz, tingidor, *thinner*, *primer*, fundo, diluente, selante e principalmente solvente. Muitos desses solventes têm temperatura de ebulição baixa o que pode acarretar a inflamabilidade desse resíduo, podendo ocorrer explosões caso não haja alguns cuidados.

2.5.1. Reciclagem do resíduo de tinta da limpeza da linha de pintura

De acordo com BFM (1999), a redução no uso de solventes além de promover competitividade, reduz os impactos ambientais e reduz os custos das operações de

pintura de madeira. Um uso mais eficiente do solvente promove menor perda de matéria prima, menor geração de resíduos de solvente e de borra de tinta, menores custos com a disposição dos resíduos. De acordo com Nunes *et al* (2007), a grande diversidade de solventes implica numa complexidade dos resíduos gerados nestes processos.



Figura 2.7: Armazenamento do resíduo de tinta em tambores.

De acordo com Dursun e Sengul (2006), a destilação simples é o processo mais empregado na recuperação de solventes. Através de processos de destilação simples ocorre a separação do solvente e dos contaminantes, e este praticamente volta à suas condições iniciais.

No entanto, combinando-se destilação com tratamento final, o solvente volta ao mercado consumidor com qualidade e garantia total de sua reutilização, segundo Lucia

e Finger (2003). Considerando o solvente novo e o solvente reciclado, segundo Salazar (2006) e Rosa *et al* (2007), há algumas diferenças de propriedades entre eles, principalmente no que se refere a seu poder de limpeza. O solvente reciclado perde algumas de suas características a cada reciclagem. Esse desequilíbrio ocorre em virtude da perda dos solventes mais voláteis, pois a evaporação natural não ocorre de maneira uniforme. Com a reposição das perdas através da adição de solvente novo, este processo fica mais lento e o poder de limpeza se mantém satisfatório. Não existe uma relação entre quantas reciclagens podem ser feitas, pois muitas são as diferenças de composição de cada solvente. Tradicionalmente, a limpeza de solventes era feita em sistemas abertos, resultando em larga emissão de COVs.

O processo de filtragem deve preceder a destilação. De acordo com Vaajasaari *et al* (2003), a filtragem é utilizada para promover a retenção de sólidos que estejam presentes o resíduo. Além disso, a filtragem contribui para um aumento da vida útil do equipamento de destilação na medida em que reduz a quantidade de sólidos impregnados ao aparelho no final do processo.

O risco da recuperação industrial de solventes deve ser analisado sob vários pontos de vista. Estes riscos são provenientes do processo de mistura de materiais, sua estocagem e o transporte para a planta de extração e as condições de operação dessa planta. Os principais parâmetros a serem considerados são inflamabilidade, a instabilidade térmica e a reatividade química.

Devido ao seu grau de periculosidade tem-se buscado várias alternativas para o melhor destino final do resíduo de tinta da limpeza da linha de pintura. Tais medidas contribuem para minimizar os impactos ambientais e sugere alternativas que valorize esse resíduo.

Segundo as recomendações da agência norte americana de proteção ambiental (EPA, 1990) a hierarquia de tratamento dos resíduos deverá ser a seguinte: redução da sua produção, reciclagem, combustão e deposição em aterro. É importante ressaltar que a deposição em aterro deve ser tomada como a última opção na gestão de resíduos, pois esta prática discorda dos termos de sustentabilidade.

A reciclagem pode ser definida como sendo qualquer técnica ou tecnologia que permite o reaproveitamento de um resíduo após o mesmo ter sido submetido a um tratamento que altere as suas características físico-químicas (Rocca, 1993). Esta vem sendo uma das técnicas mais recomendadas para o tratamento do resíduo de tinta da limpeza de equipamentos, tendo em vista que o solvente usado na limpeza das máquinas de pintura possui ponto de ebulição relativamente baixo, e que a mistura a ser separada é constituída de acetona, resíduo de tinta, verniz, laca e catalisador, tem-se o uso da destilação como uma alternativa interessante.

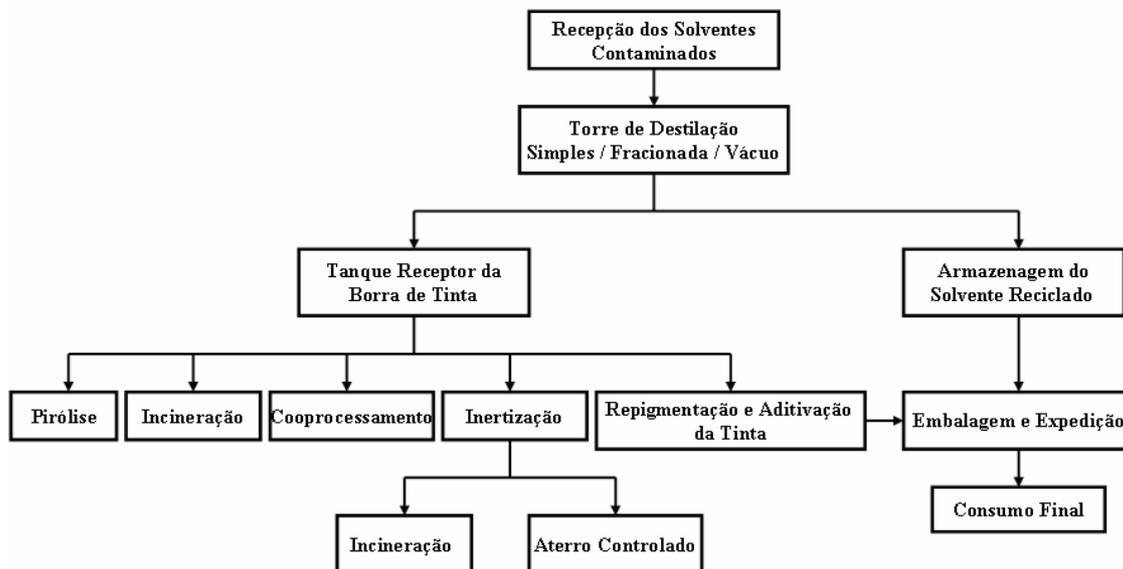
As empresas no setor que utilizam a recuperação do solvente sujo, seja em destiladores próprios ou em empresas especializadas para este fim, devem ser devidamente licenciadas no órgão ambiental competente. Convém destacar que a destilação de misturas de solventes não permite, em geral, separar (com custos aceitáveis) os seus constituintes individuais, gerando uma mistura de solventes menos complexa. Dessa forma o processo pode ser considerado como de reciclagem. Se o tratamento de destilação for aplicado a um único tipo de solvente contaminado o termo regeneração será o mais adequado.

O processo de reciclagem, varia de empresa para empresa, pois depende do tipo de destilação usada pela mesma no processo, como também a destinação final dada para a borra de tinta obtida pela destilação, sendo que essa, uma vez inerte, pode ser encaminhada para o aterro industrial, incinerada, co-processada ou transformada em tinta de segunda linha, como é feito no Pólo de Arapongas, Paraná (Lima, 2005; Lima e Silva, 2005).

A Figura 2.8 apresenta um fluxograma típico de recuperação do resíduo de tinta sugerindo os diversos fins para o resíduo gerado no destilador (borra de tinta).

O processo de destilação mostrado na Figura. 2.9 inicia-se com a recepção da amostra do resíduo a ser tratado, que passa por um processo de filtração, com a finalidade de reter o material grosseiro que pode afetar negativamente uma possível recuperação da lama gerada após a destilação. Esta tecnologia consiste na introdução do solvente de limpeza contaminado em câmaras de destilação, onde é aquecido até que se atinja a temperatura de ebulição. Nesta fase há a transformação do estado líquido para o estado

de vapor, o qual é transportado ao condensador, sendo na sequência coletado na sua forma líquida. O material destilado é recolhido e as impurezas ficam retidas na forma de lama no fundo do destilador.



Fonte: ECOSOCER (1996).

Figura 2.8. Fluxograma de reciclagem do resíduo de tinta da limpeza da linha de pintura.

O resíduo de tinta da limpeza poderia ser diretamente incinerado, mas as vantagens econômicas promovem a preferência pela reciclagem em comparação com métodos alternativos de destruição térmica. Quando as empresas optam pelo método de reciclagem do resíduo de tinta permitem uma redução dos custos com aquisição de solvente em 50% (Schneider, 2004).

A destilação é uma operação unitária muito difundida nos sistemas de separação de misturas. Processos industriais como o craqueamento do petróleo, produção de álcool, alambiques, produção de vinho, dentre outros setores da indústria utilizam esta técnica, dado a necessidade de separar componentes com pontos de ebulição (PE) relativamente distintos a pressão constante, sendo esta diferença no PE fundamental para bons resultados no que diz respeito a essa tecnologia.

Esta técnica possui algumas variantes, como a destilação simples ou convencional, a destilação fracionada e a destilação a vácuo, sendo que estas ainda podem ser subdivididas em contínuas e em batelada. O processo de batelada envolve a produção ou

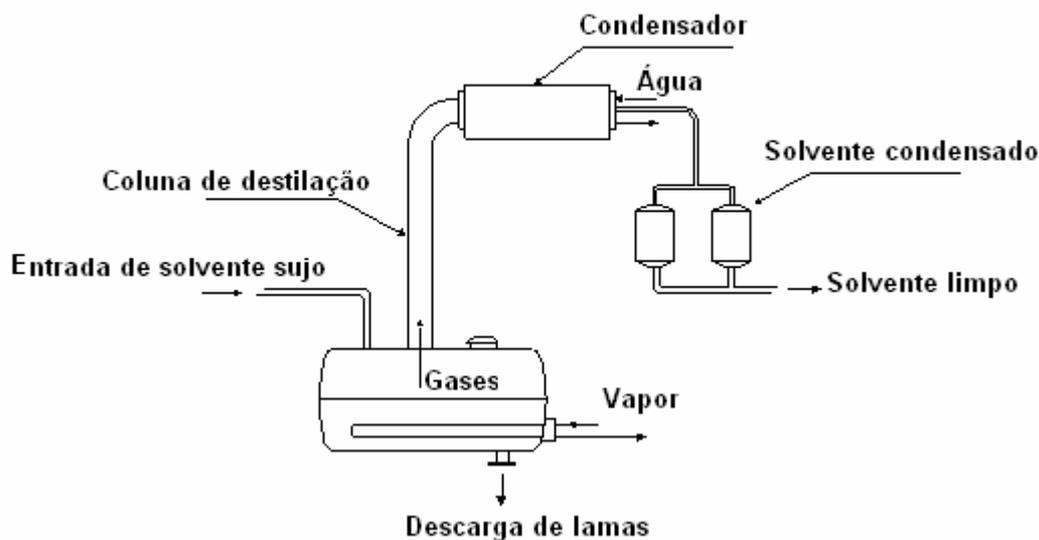
o processamento de produtos em bateladas finitas, ao invés de ser um processo contínuo de produção. Convém destacar que os aspectos relativos aos tipos de destilação devem ser levados em consideração para se determinar qual será o mais adequado ao processo em questão.

A destilação simples consiste na vaporização de um líquido por aquecimento, seguida da condensação do vapor e recolhimento do condensado num frasco apropriado. Na maioria das vezes é usada para separar um líquido de impurezas não voláteis (em solução no líquido) de um solvente usado numa extração, ou excepcionalmente, para separar líquidos de ponto de ebulição afastados. A Figura 2.9 representa um desenho esquemático de um sistema de destilação simples alimentado por vapor.

A destilação fracionada é usada para a separação de dois ou mais líquidos de diferentes pontos de ebulição, sendo mais adequada quando se deseja separar os multicomponentes de uma mistura, os quais possuem pontos de ebulição diferentes. Seu uso na reciclagem da borra de lavagem seria justificado pelo fato de haver contaminação do destilado com outros solventes.

Uma outra variante do processo de destilação, que pode ser utilizada, é a evaporação em vácuo ou destilação a vácuo, em que o solvente é evaporado não mais por incremento de temperatura, mas sim por redução de pressão e temperatura. Normalmente utiliza-se bomba de óleo para produzir pressões em valores entre 0,01 a 100 mmHg, o que abaixa o ponto de ebulição do mesmo, forçando-o a passar do estado líquido para o de vapor, sendo este, condensado e coletado como no sistema anterior.

As vantagens deste sistema, em relação aos primeiros, residem no fato de que o solvente a ser tratado é inflamável, o que pode gerar situações de perigo em destiladores fundamentados em aquecimento. A utilização de temperaturas mais baixas, como da destilação a vácuo, diminui a possibilidade de degradação do solvente, dado a temperatura a que este pode estar sujeito nos destiladores convencionais (INETI, 2000).



Fonte: ECOSOCER, 1996.

Figura 2.9. Sistema de destilação simples de solvente alimentado por vapor.

2.5.2. Destinação final da borra de tinta gerada no processo de destilação

As formas mais comuns de destino da borra de tinta, segundo Dossin e Muniz (2004), são incineração e pirólise. Na incineração o custo elevado diminui a atratividade do processo. A pirólise se apresenta como uma alternativa mais atrativa, uma vez que reduz a massa do resíduo em até 95%. Esse processo gera ainda óleo e gás combustível que podem ser reaproveitados.

A recuperação da borra da tinta é uma alternativa ao seu destino em aterro sanitário industrial ou incineração. Rocha (2006) recuperou *primer* fazendo uma homogeneização do produto com cargas, pigmentos, resinas e solvente sujo, formando uma mistura pastosa. Depois, ajustou a viscosidade do material obtido com solvente sujo. O autor cita a aplicação da borra de tinta como adsorvente para alguns tipos de solvente, em substituição ao carvão ativado, e, cita ainda, outro estudo que propõe a utilização da borra de tinta como material de reforço em componentes plásticos, após sua conversão em compósito cerâmico pela pirólise.

A Volkswagen mantém um programa de redução de impacto ambiental onde o

fornecedor retira a borra de tinta para usá-la como matéria prima na fabricação de isoladores acústicos que equipam os carros da marca. Existem ainda alguns estudos sobre a utilização da borra de tinta na fabricação de tintas de segunda linha para exteriores.(SBRT, 2007)

A lama que sobra da destilação considerada borra de tinta pode ser recuperada por várias técnicas, uma delas é a transformação deste resíduo em combustível de incineradores. Segundo Formosinho *et al.* (2000), quando os resíduos possuem um poder calorífico significativo, de pelo menos 5.000 kJ/kg, a sua destruição em processos industriais, substituindo combustíveis fósseis, pode justamente ser considerada como um processo de valorização energética, em que algumas das propriedades úteis do material vão ser aproveitadas.

A incineração constitui-se num método de tratamento que se utiliza da decomposição térmica, com o objetivo de tornar um resíduo menos volumoso e menos tóxico. A energia térmica necessária para a queima e destruição eficazes provém do próprio poder calorífico dos resíduos e/ou da queima de um combustível auxiliar. Geralmente os incineradores trabalham na faixa de 1200 a 1400°C com o tempo de detenção entre 0,2 a 0,5 segundos, podendo chegar em alguns casos até 2 segundos (Stinghen, 2006).

Entretanto, antes de optar por essa técnica é fundamental que se tenha uma caracterização do resíduo para se determinar a viabilidade econômica da alternativa em questão, dado que é necessário um potencial energético mínimo. Além disso, deve ser levado em conta o custo do uso do transporte que pode encarecer o processo.

A borra de tinta também pode ser co-processada em fornos de cimenteiras. Nesse caso deve-se averiguar a possibilidade de emissão de metais, presentes na tinta. Essa tecnologia de destinação de resíduos industriais satisfaz plenamente as atuais exigências de controle ambiental. O co-processamento consiste na técnica de destruição térmica, submetendo os resíduos às altas temperaturas dos fornos de fabricação de clínquer (principal matéria-prima do cimento), devidamente licenciados e preparados para esta finalidade. Tem-se com isto, aproveitamento de conteúdo energético e/ou fração mineral, ou seja, será o uso de processos térmicos tradicionais onde os resíduos

perigosos serão tratados como matérias-primas ou substitutos do combustível (EURITS, 1996).

Outra proposta de solução para este problema é a pirólise que surge como uma alternativa para a reciclagem terciária de resíduos perigosos (Classe I) como a borra de tinta, reduzindo a massa do resíduo em até 95%, projeto este que está sendo desenvolvido pela Universidade de Caxias do Sul, o qual mostrou a pirólise como sendo um meio economicamente viável. Tal técnica consiste na reação de degradação térmica por aquecimento a temperaturas relativamente baixas, da ordem dos 430°C, a pressões elevadas (CPEO, 1998), ou a temperaturas da ordem dos 800°C na ausência, ou com o mínimo de oxigênio, de forma a agregar valor a produtos potencialmente poluidores.

A degradação da borra de tinta por essa técnica ocorre sob transferência de calor entre 450 °C e 550 °C por intermédio de uma cinta metálica aquecedora colocada ao redor do reator, um silo de armazenamento do rejeito. Os produtos saem do reator 100% em estado gasoso e ingressam na unidade de separação *flash*, onde ocorre a divisão em duas fases: óleo combustível, obtido no fundo do tambor e o gás combustível retirado pelo topo da unidade *flash*, o qual colocado em tanque de armazenagem com compressor retorna à fornalha gerando calor para o reator num ciclo contínuo de geração energética (Giaretta *et al.*, 1998).

A diferença da pirólise rápida das plantas de incineração tradicionais é que nesta última o resíduo é destruído, já naquela sempre resultará numa nova substância quimicamente aproveitável e serve como opção de tratamento a diversas modalidades de passivo ambiental sólido como plástico, madeira e areia de fundição contaminada por metais pesados (Giaretta *et al.*, 1998).

Mais uma alternativa para esse resíduo que se deposita na câmara do decantador é a repigmentação e aditivação da mesma, visando com isto inserir esse resíduo numa cadeia produtiva, dando-lhe valor econômico. A borra de tinta que sai bruta do destilador é repassada à unidade de produção de tintas conforme mostra a Figura 2.10 onde serão adicionados componentes como: a resina, o pigmento, o aditivo e o solvente, os quais se combinam de maneira estequiométrica e variada, originando uma tinta de segunda linha.

Tal peculiaridade pode restringir essa opção, dependendo da constituição da lama gerada no destilador. Uma vez que a constituição da lama depende da forma de coleta do resíduo, ou seja, se o material é composto por resíduos de características químicas inadequadas para a composição de um produto secundário de qualidade, há a possibilidade de inadequação desta recuperação.



Fonte: Lima, 2005

Figura 2.10: Detalhes do processo de repigmentação e aditivção do resíduo borra de tinta.

A inertização é também uma forma de destinação final desse resíduo, na qual ele é estabilizado de modo a possibilitar a deposição em aterro ou incineração, caso esta seja a alternativa escolhida. Para estes tipos de resíduos (resinas, pigmentos, metais pesados e resquícios de solvente), o sistema mais aconselhado é o da adição de óxido de cálcio processo conhecido de Calcicox (ECOSOCER,1996). Os resíduos a tratar já não têm grande componente volátil.

O óxido de cálcio assegura uma condição fortemente alcalina, que irá estabilizar os metais na sua forma de hidróxido, diminuindo assim os seus potenciais para a lixiviação. Por outro lado, funciona também como agente solidificante, resultando, finalmente, numa matriz estável que se assemelha a argila (ECOSOCER, 1996). Caso necessário, para ajudar a formação dessa matriz poderá ser utilizado também cimento como complemento do tratamento químico indicado. Depois de transformados em blocos ou micro cápsulas, os resíduos deixam de ser facilmente solubilizados e transportados pelos agentes ambientais, podendo ser depositados em aterros industriais.

O problema da inertização não se encontra unicamente nos custos industriais, mas também, e de forma relevante, nos custos de aterro, caso este não seja recuperado (ECOSOCER, 1996).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Esse trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Saneamento da Escola de Minas e no Laboratório de Resíduos e Meio Ambiente do Instituto de Ciências Exatas e Biológicas (ICEB), ambos pertencentes à Universidade Federal de Ouro Preto.

O material, objeto da pesquisa, consistiu-se no resíduo de tinta gerado no processo de limpeza dos equipamentos da linha de pintura das indústrias de móveis de madeira, localizadas no Pólo Moveleiro de Ubá.

Os resíduos para análises foram fornecidos pela empresa Celmóveis. Esta empresa foi escolhida por representar bem os processos de pintura de móveis e produtos utilizados no Pólo Moveleiro de Ubá, como por demonstrar interesse e disponibilidade em participar do projeto de pesquisa. O projeto constou da quantificação dos resíduos de tinta gerados na linha de pintura, a avaliação do processo de destilação destes resíduos na recuperação de solventes e a caracterização dos subprodutos deste processo, ou seja, do solvente e da borra de tinta, permitindo subsidiar uma proposta de gerenciamento desse resíduo.

3.1 Quantificação dos insumos utilizados na linha de pintura de móveis e dos resíduos gerados

A quantificação de resíduos foi realizada por meio de aplicação de um Inventário de Resíduos Sólidos industriais, elaborado conforme orientação do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), através da Resolução nº.313/2002 (CONAMA, 2002). Sua aplicação foi realizada de forma presencial, por meio de visitas técnicas.

Salienta-se a dificuldade em quantificar os resíduos gerados em cada fase da linha de pintura, sendo o quantitativo estimado através de um levantamento de insumos químicos consumidos no processo fabril. Os produtos utilizados na linha de pintura foram quantificados com base nas notas fiscais de compra de cada um deles. A partir

daí, calculou-se a média de consumos. Este dado foi importante, por contribuir para a determinação do volume médio de resíduos gerados na linha de pintura.

3.2 Coleta das amostras

As amostras do resíduo foram coletadas durante a limpeza do equipamento de pintura, que ocorre a cada troca de pigmento, e também do resíduo não segregado e armazenado em tambores. A coleta foi composta feita em vidros âmbar de volume de 1 litro, vedados com batoque e tampa de rosca, durante um período de geração do resíduo de uma semana em média, totalizando três (três) amostras, conforme descrito a seguir:

- **Amostra 1** - Verniz UV + Solvente (material coletado na linha de pintura no momento da limpeza com solvente);
- **Amostra 2** - Primer Maple UV + Solvente (material coletado na linha de pintura no momento da limpeza com solvente);
- **Amostra 3** - Mistura homogeneizada de todos os produtos resultantes da limpeza da linha de pintura (material acondicionado no tambor, localizado junto à linha de pintura).

As amostras foram identificadas e encaminhadas para o Laboratório de Saneamento Ambiental da Escola de Minas, da Universidade de Ouro Preto para as sucessivas análises químicas de caracterização do resíduo.

A segregação dos resíduos na linha de pintura foi feita para fins de metodologia deste trabalho. Entretanto, a situação real dentro da empresa mostra que o resíduo é coletado sem segregação, apresentando componentes de todo o processo de pintura, formando uma mistura, conforme descrição da Amostra 3 - mistura. A segregação do resíduo visou avaliar sua influência na recuperação do solvente e da borra de tinta (material residual do processo de destilação).

3.3 Preparo das amostras

As amostras enviadas ao laboratório permaneceram acondicionadas, no próprio

recipiente de coleta, em temperatura ambiente, ao abrigo da luz, durante cinco dias, permitindo sua decantação. Em seguida, as amostras foram filtradas utilizando papel filtro qualitativo de 80gramas, segundo orientações de Vaajasaari *et al.* (2003).

A filtração foi utilizada para promover a retenção de sólidos que estejam presentes no resíduo além de contribuir para um aumento da vida útil do equipamento de destilação na medida em que reduz a quantidade de sólidos impregnados ao aparelho no final do processo de destilação. Após a filtração, o filtrado foi submetido ao processo de destilação. Observou-se que apenas as amostras 2 e 3 apresentaram material decantado, a amostra 1 permaneceu homogênea.

3.4 Destilação das amostras

Nesse trabalho, foram avaliados três tipos de destilação: simples, fracionada e simples a vácuo, a fim de investigar a eficiência de cada processo na recuperação do solvente e a composição de cada destilado.

As destilações foram feitas em balão de fundo redondo de 500ml, utilizando condensador de Liebig (destilação simples), condensador reto, coluna Vigreux (destilação fracionada) pérolas de cerâmica, conexões, mangueiras de borracha, garras suportes universais, termômetro com indicação até 200°C e manta de aquecimento Fisatom modelo 52E, 220 v. A destilação simples e a destilação fracionada ocorreram entre 52° e 74°C, enquanto a destilação a vácuo ocorreu entre 48° e 68°C, e 10mmHg.

Para cada destilação foi utilizado um volume de 300mL das amostras filtradas. Esse volume foi pesado no balão antes e depois do processo. O mesmo procedimento foi realizado com o destilado. Procedeu-se, assim, o cálculo do rendimento através do balanço de massa do processo, uma vez que a medida apenas por volume se torna difícil, pois a borra residual após a destilação se apresenta muito viscosa e as perdas por transferência de vidraria são significativas.

Os processos de destilação realizados resultaram em duas frações: o destilado (solvente reciclado) e o resíduo que sobra da destilação (borra de tinta), que foram armazenados

em frascos de vidro âmbar e identificados para serem submetidos a análises posteriores.

A coleta das frações foi realizada em dois momentos de elevação de temperatura. O primeiro quando a temperatura se elevou de 52°C até 64°C. O segundo momento ocorreu quando a temperatura se elevou de 64°C até 72°C.

3.5 Caracterização dos produtos da destilação

O processo de destilação gera três subprodutos, a saber: resíduo resultante da filtração das amostras provenientes da limpeza do equipamento de pintura; solvente destilado e a borra de tinta, resultante do processo de destilação do resíduo. A caracterização dos subprodutos foi realizada através das técnicas de medição do índice de refração, Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massas e análise térmica.

3.5.1 Medida do índice de refração

O solvente destilado foi submetido à medida do índice de refração. Esse índice constitui uma propriedade físico-química do material, que determina a sua pureza.

O índice de refração foi obtido por meio de um refratômetro de Abbe de marca Lambda, modelo 2WAJ, no Laboratório de Resíduos e Meio Ambiente (Instituto de Ciências Exatas e Biológicas da UFOP). Para efeito de estudo foram avaliadas as fichas técnicas dos produtos utilizados na linha de pintura de móveis da Empresa em estudo para identificar os solventes que possuem concentração superior a 20%, sendo encontrados: acetona, etanol, acetato de etila, butanol, acetato de 3-metilbutila, etilglicol, etilenoglicol, tolueno, xileno e éster butílico. Como forma de calibração do aparelho, determinou-se os índices de refração dos padrões analíticos desses 10 solventes, e em seguida medidos os valores de cada amostra destilada. Inicialmente, calibrou-se o refratômetro com clorofórmio. Em seguida, mediu-se o índice de refração para cada um dos padrões analíticos dos solventes selecionados e depois, o índice dos solventes destilados.

3.5.2 Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massas

Utilizou-se a técnica de Cromatografia Gasosa (CG-MS) na qualificação do solvente recuperado e avaliação da viabilidade da separação individual de seus componentes por meio do processo de destilação.

A composição dos solventes reciclados foi determinada por cromatografia em fase gasosa. Alíquotas de 30mL do destilado foram acondicionadas em frascos âmbar devidamente lavados com sabão, água destilada, colocados em ácido nítrico por 24 horas e enxaguados com solução aquosa miliequivalente (mEq), evitando qualquer contaminação das amostras. Essas amostras foram mantidas refrigeradas a 4°C.

Para as análises foi empregado um cromatógrafo a gás da Shimadzu, modelo CMS-QP2110 com detector por espectrometria em massa. A separação efetiva dos componentes da amostra foi efetuada na coluna cromatográfica RTX-5MS (Restex) de 30m de comprimento, diâmetro interno de 0,25mm e 0,25µm de espessura de filme. Foram obedecidas as seguintes condições de operação: temperatura do injetor foi de 220°C; temperatura inicial foi de 30°C, mantida por 1 minuto, e em seguida elevada para 220°C em uma taxa de 10°C/min. A cromatografia foi realizada em velocidade linear e fluxo na coluna de 1,24mL/min, injeção em modo split. O tempo total de corrida por 20 minutos. A temperatura do detector foi de 200°C e 250°C para a interface. A varredura foi realizada na faixa de massas entre 30 e 200m/z a uma pressão de 61,5kPa.

3.5.3 Análise Térmica

Tanto o resíduo de tinta coletado quanto a borra de tinta resultante da destilação foram submetidos a métodos térmicos, sendo estudados via Termogravimetria (TG) e via DSC (*Diferencial scanning calorimetry*). Estas análises foram realizadas no Laboratório de Análise Térmica da Universidade Federal de Minas Gerais.

Para a TG utilizou-se um aparelho Shimadzu, modelo DTG 60. A análise transcorreu em atmosfera de ar, em cadinho de alumina, com um fluxo de ar de 100mL/min e uma razão de aquecimento de 20°C/min de 25 até 700°C.

Para a realização da Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC), utilizou-se um aparelho Shimadzu, modelo DSC50. A análise transcorreu em atmosfera de nitrogênio, utilizaram cadinho de alumina, com um fluxo de gás de 100ml/min e razão de aquecimento de 20°C/min até 380°C.

3.6 Teste de eficiência do solvente em remoção de tinta

Feita a recuperação do solvente, foi realizado um teste para investigar seu poder de remoção de tinta comparado a um solvente novo. Segundo Rosa *et al.* (2007), uma das formas de se comparar a eficiência de solventes é a imersão de um corpo de prova dentro de um recipiente contendo o solvente que se deseja estudar e avaliar a perda de massa em função do tempo de imersão. Para isso chapas de flandres dimensionados em 6cm x 4cm foram pesadas e, em seguida, uma camada de tinta foi aplicada sobre elas. As chapas foram colocadas em estufa por 8 minutos, a 100°C para garantir a secagem da tinta. Decorrido esse tempo de secagem, as placas foram retiradas e pesadas novamente.

As chapas foram mergulhadas durante 30 minutos em béqueres de 50 mL contendo as seguintes proporções de solvente recuperado em relação ao solvente disponível no mercado (*thinner*, produto similar ao utilizado pelas indústrias de móveis utilizado pela Empresa) 100%, 50%, 20% , 10% e 0%. Após esse tempo de imersão foram retiradas, secadas e pesadas novamente. A variação de massa permitiu comparar a eficiência de remoção do solvente recuperado. Cada teste foi realizado com três repetições.

3.7 Taxa de evaporação do Solvente

Para avaliar a quantidade de solvente que evapora durante um determinado tempo, e construir sua curva de evaporação, pesaram-se três béqueres de mesma área e espessura de parede, contendo um volume de 50 mL sendo um de solvente comercial (*thinner*, produto utilizado pela Empresa), um de resíduo filtrado proveniente da amostra 2-*primer* + solvente, e outro com solvente recuperado. A amostra 2 foi escolhida por ter apresentado melhor rendimento no processo de destilação. Após a pesagem, os béqueres ficaram expostos sobre a bancada, à temperatura ambiente (26°C), por um período de 5 horas. Durante esta exposição mediu-se a variação de massa dos recipientes, a cada

30min e construiu-se uma curva de evaporação relacionando a perda de massa em função do tempo. Esse procedimento serviu para avaliar o comportamento dos solventes relacionados durante a evaporação.

Um outro teste foi realizado para avaliar a perda dos componentes durante o processo de evaporação do solvente comercial. Foram realizadas análises cromatográficas utilizando alíquotas de 30 mL de amostras de solvente comercial (produto utilizado pela Empresa) coletadas imediatamente após a abertura do frasco, após 4 e 96 horas de evaporação.

3.8 Recuperação da borra de tinta

Nessa etapa, foi feita a recuperação do *primer* (material decantado e retido na filtração) da amostra 2 (*primer* + acetona) e da amostra 3 (mistura). Após a filtração, solvente recuperado foi adicionado ao *primer*, e em seguida mediu-se a sua densidade de acordo com o procedimento descrito por ABRAFATI (2005), através de picnômetro.

Assim, pesou-se um picnômetro de 10mL vazio e com água destilada a uma temperatura de 24°C. Com isso foi determinado o volume real do picnômetro, segundo a equação:

$$V = (B - A) / q,$$

onde:

V- volume real do picnômetro (cm³)

B- massa do picnômetro com água (g)

A- massa do picnômetro vazio (g)

q- massa específica da água a 24°C (0,997296 g/cm³).

Uma vez obtidos os dados acima, determinou-se a massa específica da tinta obtida pela equação:

$$M_e = (P - A) / V,$$

onde:

M_e é a massa específica da tinta, e

P a massa do picnômetro com a tinta.

Estas análises subsidiaram a definição de etapas de um sistema de gerenciamento de resíduo do processo de pintura de móveis.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Quantificação dos insumos utilizados e dos resíduos gerados no processo de pintura de móveis

4.1.1 Levantamento quantitativo dos produtos químicos utilizados no processo de pintura de móveis da Empresa Celmóveis

Os dados quantitativos dos produtos químicos utilizados no processo de pintura dos móveis, fornecidos pela Empresa Celmóveis, são mostrados na Tabela 5.1. Estes quantitativos constituem uma média mensal, pois a quantidade de produtos usados varia conforme a demanda do mercado. A identificação fabricantes dos produtos destinados à Empresa, o que permite uma identificação preliminar da composição de solventes presentes no resíduo borra de limpeza e qual a sua faixa de concentração através da ficha técnica dos produtos. Além disso, as composições dos produtos podem variar de uma marca para outra.

4.1.2 Levantamento quantitativo dos resíduos químicos gerados no processo de pintura de móveis da Empresa Celmóveis

Com base nos dados mensais de compra de produtos químicos, mostrados na Tabela 4.1 e nos dados quantitativos dos resíduos gerados no processo de limpeza do equipamento de pintura foi gerado um gráfico, mostrado na Figura 4.1 que compara a quantidade de produtos químicos de revestimento, a quantidade de solvente gasto na limpeza do equipamento de pintura e a borra de limpeza produzida.

Quanto aos resíduos do processo de pintura, observa-se que o volume gerado representa cerca de 6% da quantidade de produto químico de revestimento utilizado. Os valores de consumo de insumos e da geração de resíduos podem variar a cada mês (Schneider, 2004). O restante do valor seria a perda por evaporação e a lama que sobra da destilação que deve ser disposto corretamente.

Tabela 4.1: Produtos químicos utilizados na linha de pintura da Empresa Celmóveis.

Produto	Fabricante	Consumo médio mensal (l/mês)
Verniz Brilhante	Renner Sayerlack	252,0
Verniz Fosco	New Lac/Eden Química	414,0
Massa	Renner Sayerlack	309,0*
Primer Branco	New Lac/Eden Química	18,0
Primer Marfim	New Lac/Eden Química	54,0
Primer Mogno	New Lac/Eden Química	36,0
Primer Maple	New Lac/Eden Química	45,0
Primer Tabaco	New Lac/Eden Química	90,0
Esmalte Branco	Renner Sayerlack	7,2
Veio Marfim	Renner Sayerlack	3,6
Veio Mogno	Renner Sayerlack	6,5
Veio Maple	Renner Sayerlack	9,0
Veio Tabaco	Eden Química/Sayerlack	33,8
Diluyente	New Lac/Eden Química	54,0
Retardador	Eden Química/Sayerlack	54,0
Thinner	Eden Química/Sayerlack	306,8
Acetona	Eden Química/Sayerlack	326,8
Esmalte Branco	Eden Química/Sayerlack	43,2
Esmalte Marfim	Eden Química/Sayerlack	117,0
Esmalte Mogno	Eden Química/Sayerlack	130,5
Esmalte Maple	Eden Química/Sayerlack	37,8
Esmalte Tabaco	Eden Química/Sayerlack	378,0
Catalizador Verniz	Eden Química/Sayerlack	432,0
Catalizador Fundo	New Lac/Eden Química	1.044,0
Fundo Borda	New Lac/Eden Química	1.116,0
Diluyente	Eden Química/Sayerlack	228,3

* Valor em kg/mês

Segundo Abreu (2002), 75% das empresas de Ubá são de pequeno porte, consumindo mensalmente 50m³ de madeira cortada. Assim, considerando que a Empresa Cel Moveis gere cerca de 300 kg de resíduo de pintura por mês, há produção mensal de 6kg de resíduo/m³ de madeira cortada.

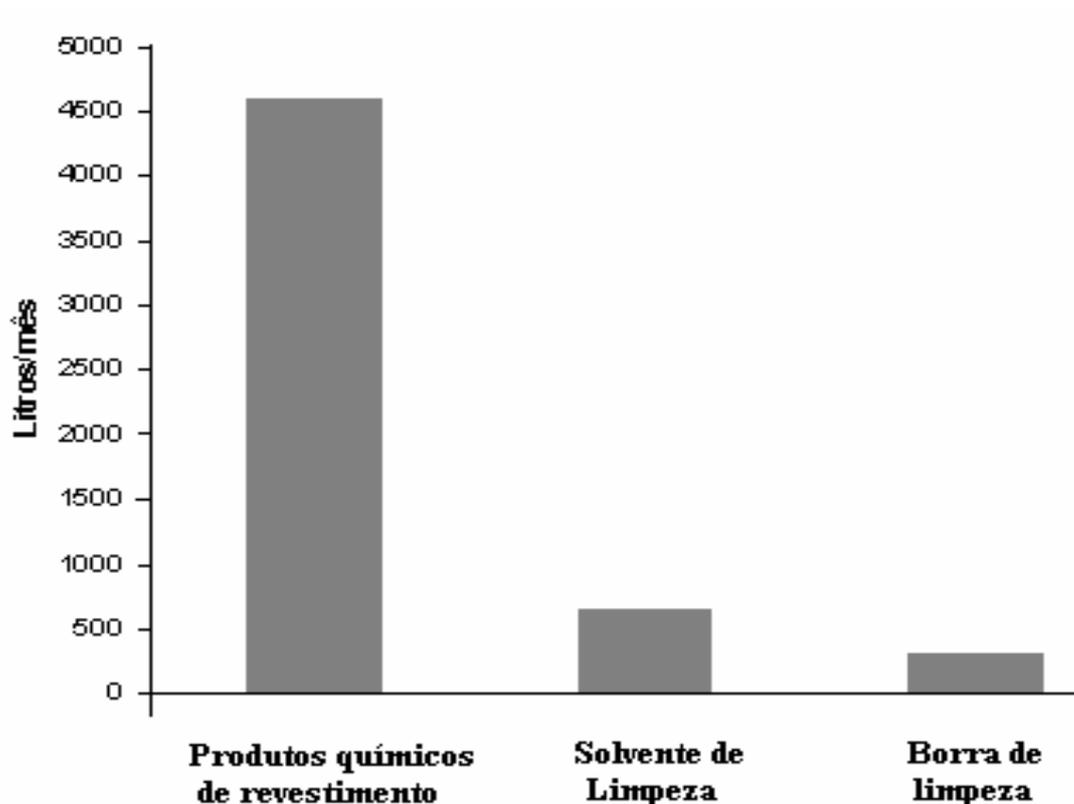


Figura 4.1: Comparativo de produtos usados na linha de pintura de móveis e o resíduo gerado.

4.2 Avaliação dos processos de destilação dos resíduos de pintura de móveis

Durante os processos de destilação simples e destilação fracionada ocorreu uma de variação de temperatura, iniciando-se em 52°C e atingindo 74°C. No processo de destilação a vácuo, a variação de temperatura ocorreu entre 48°C e 68°C. Para cada tipo de destilação foram realizadas três repetições.

Os resultados das destilações, simples, fracionada e a vácuo, das amostras de resíduos do processo de pintura de móveis são apresentados na Tabela 4.2.

O processo de destilação a vácuo apresentou o melhor rendimento. Os valores obtidos representam as porcentagens em massa de solvente recuperado. A Amostra 2- *primer* UV + solvente, apresentou o melhor rendimento. Devido à sua composição o *primer* não apresenta boa dissolução no solvente e se decanta facilmente.

Tabela 4.2: Rendimento dos processos de destilação.

Amostra	R_S %	R_F %	R_V %
Verniz UV+Acetona	29,97	54,47	61,81
Primer UV + Acetona	74,21	74,43	79,11
Mistura	51,79	55,11	61,94

R_S=Rendimento da destilação simples; R_F= rendimento da destilação fracionada; R_V= Rendimento da destilação à vácuo

A densidade do *primer* UV está entre 1,254 e 1,600g/cm³, segundo a Ficha de Segurança de Produto Químico (FISPQ) fornecida pelo fabricante enquanto a do solvente está entre 0,800 e 0,900g/cm³. A decantação permite uma melhor separação entre *primer* e solvente melhora o rendimento da destilação.

No caso da amostra com Verniz UV, a densidade do verniz dada pela FISPQ número 14884 é de 0,991± 0,020 g/cm³, mais próxima da densidade do solvente citado acima. Neste caso, a decantação não é tão favorecida quanto no caso do *primer*. Além disso, a composição do verniz apresenta 60-65% de intermediário acrílico, um componente ausente no *primer* e de polaridade semelhante à do solvente. Isso favorece a melhor interação do verniz com o solvente diminuindo o rendimento dos processos de destilação.

No caso da mistura de revestimentos e solventes, as interações entre os oligômeros, monômeros e intermediário acrílico diminuem o rendimento da destilação. Nesta amostra, a decantação do *primer* é visivelmente menor que na amostra segregada, devido às interações entre ele e o verniz.

Considerando a gestão do resíduo da lavagem do equipamento de pintura, com base nos resultados obtidos, é importante a segregação quando houver a presença de *primer*. O rendimento da destilação para as amostras 1 (verniz UV + solvente) e amostra 3 (mistura de resíduos de tinta) não sofre variação significativa. Entretanto, comparando ambos, com o rendimento da amostra 2 (*primer*+solvente) percebe-se um melhor rendimento desta amostra, o que torna relevante sua segregação durante o processo de lavagem.

4.2.1 Caracterização dos produtos da destilação

Os resultados da caracterização dos produtos da destilação através do índice de refração, CG/EM (Cromatografia Gasosa Acoplada à Espectrometria de Massa) e Análise Térmica são apresentados a seguir.

4.2.1.1 Solventes recuperados

A determinação do índice de refração do solvente destilado forneceu os resultados dispostos nas Tabelas 4.3, 4.4 e 4.5.

Tabela 4.3: Índice de refração para o produto da destilação simples.

Amostra	Índice de Refração
Verniz UV + solvente	(1,360 ± 0,001)
Primer UV + solvente	(1,365± 0,001)
Mistura	(1,366± 0,001)

Tabela 4.4: Medida do índice de refração para a destilação fracionada.

Amostra	Fração	Índice de Refração
Verniz UV + solvente	1A	(1,360± 0,001)
	1B	(1,362± 0,001)
	1C	(1,364± 0,001)
Primer UV + solvente	2A	(1,362± 0,001)
	2B	(1,361± 0,001)
	2C	(1,363± 0,001)
Mistura	3A	(1,363± 0,001)
	3B	(1,364± 0,001)

Os valores encontrados para o índice de refração não permitem afirmar que a destilação foi suficiente para recuperar um solvente puro, pois não são iguais aos valores obtidos para os padrões de solventes avaliados. Entretanto, os valores encontrados são bastante próximos do valor do etanol, que está presente em todas as amostras, conforme mostrado no Apêndice 1.

Tabela 4.5: Medida do índice de refração para a destilação á vácuo.

Amostra	Índice de Refração
Verniz UV + solvente	(1,360± 0,001)
Primer UV + solvente	(1,363± 0,001)
Mistura	(1,371± 0,001)

A Tabela 4.6 mostra as fórmulas estruturais e alguns dados físico-químicos dos componentes presentes no solvente recuperado.

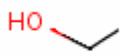
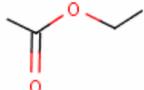
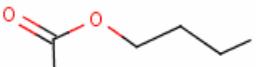
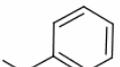
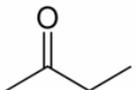
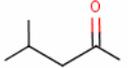
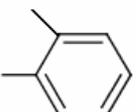
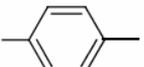
Por Cromatografia Gasosa (CG) foi possível comprovar a ineficiência do processo de destilação fracionada para a separação de componentes com alto grau de pureza. Através dos cromatogramas constatou-se que as amostras analisadas e suas respectivas frações são constituídas por uma mistura similar de solventes. Essas cromatografias são mostradas no Apêndice 1.

Os componentes do solvente recuperado pelos três tipos de destilação foram identificados por CG-MS. As análises cromatográficas dos solventes recuperados permitiram a identificação dos principais componentes das amostras e também a comparação entre os diferentes processos de destilação. Os cromatogramas são mostrados no Apêndice 1. Os solventes não foram quantificados por não ser um objetivo do trabalho essa quantificação. Entretanto, para trabalhos futuros, recomenda-se a quantificação por permitir a reconstituição do solvente recuperado com base nas quantidades percentuais de seus constituintes.

Os resultados da análise cromatográfica são compatíveis com um solvente comercial, ou seja, uma mistura de vários solventes, conforme ABRAFATI (2005).

A Espectroscopia de Massas foi utilizada para a identificação de todos os picos encontrados nos cromatogramas. Os solventes identificados foram: etanol; 1 propanol; 2 butanona; acetato de etila; 1,1 dietoxietano; metilisobutilcetona; tolueno; 2,2 dietoxipropano; acetato de butila; etilbenzeno; p-xileno; estireno; 2 etoxietil acetato; cujas características físico químicas estão apresentadas na Tabela 4.6. O espectro de massa é mostrado no Apêndice 1.

Tabela 4.6: Fórmula estrutural e dados físico-químicos dos solventes presentes no resíduo.

Composto	Fórmula Estrutural	Ponto de Ebulição (°C)	Pressão de Vapor (mm Hg a 25°C)	Ponto de Fulgor (°C)	Índice de Refração A 25°C
Etanol		78,4	44,5	17	1,3611
Acetato de etila		77,1	93,2	-4	1,3719
Etilenoglicol		197,3	5,31	111	1,4310
n-butilacetato		126	11,5	22	1,3921
Tolueno		110,9	28,4	4,4	1,4961
2,2 dietoxipropano		114	17,5	8	1,3891
Etilbenzeno		136,1	9,60	12,8	1,4359
2 butanona		79,5	90,6	3,9	1,4001
Metilisobutilcetona		116,5	19,9	15,6	1,3962
o-xileno		144,4	6,61	32	1,5054
p-xileno		138,4	8,76	25	1,4958

Fonte: Speight, 2005

Segundo Zieba-Palus *et al* (2008), nesse tipo de amostra, onde vários solventes estão presentes, muitos são indistinguíveis, baseados na observação da presença ou não de muitos picos. Para este trabalho, todos os solventes foram identificados.

A análise dos dados fornecidos pelas destilações e pelos cromatogramas permite afirmar que a recuperação individual dos solventes que compõem o resíduo não é viável economicamente, já que destilações sucessivas podem permitir a separação dos componentes. A variedade de componentes e suas interações na mistura inviabiliza sua recuperação individual.

Do ponto de vista da gestão do resíduo da limpeza do equipamento de pintura, sua segregação não interfere na qualidade do solvente recuperado por destilação, se refletindo apenas no rendimento da destilação. Para todas as amostras, a composição foi semelhante. As variações encontradas são atribuídas à ordem de coleta das frações. As frações coletadas por último são mais ricas nos componentes menos voláteis, não identificados nas primeiras frações, mais ricas em componentes mais voláteis.

4.2.1.2 Borra de tinta resultante do processo de destilação

A Termogravimetria (TG) avaliou a estabilidade térmica da borra de tinta resultante do processo de destilação, dado relevante para o acondicionamento do resíduo do processo de pintura de móveis. A Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) permitiu investigar a existência de reações químicas durante o processo de aquecimento.

O resultado da TG em ar da amostra 2, *primer* + solvente é mostrado na Figura 4.2. A análise mostra uma perda de massa acentuada antes de 100 °C. Pela temperatura na qual ocorreu a destilação, essa perda pode ser atribuída à evaporação dos solventes mais voláteis.

Salazar *et al* (2006) observa que a evaporação de solventes em processos de destilação ocorre em temperaturas inferiores a 150 °C. A amostra apresenta uma perda de massa acentuada até por volta de 65 °C . Tal perda denota sua baixa estabilidade térmica. A temperatura de 65 °C é facilmente atingida em depósitos onde são armazenados esses resíduos. Segundo Lunghi *et al* (1998), a geração de vapores provenientes da estocagem e provenientes da própria destilação são as principais causas de incêndio em plantas de recuperação de solventes. Ele afirma ainda que os riscos provenientes de processos de recuperação industrial de solventes devem ser analisados tanto do ponto de vista do

processo de estocagem, como também das condições de operação da planta.

Além disso, este resultado está condizente com os valores do ponto de fulgor dos componentes encontrados no solvente recuperado, mostrados na Tabela 5.6. Ponto de fulgor é a menor temperatura na qual um líquido ou combustível inflamável desprende vapores em quantidade suficiente para que a mistura vapor-ar, imediatamente acima de sua superfície propague uma chama a partir de uma fonte de ignição.

Assim, conclui-se que o resíduo do processo de limpeza do equipamento de pintura requer adoção de procedimento em seu gerenciamento que vise um menor tempo de estocagem deste material e que esta estocagem seja feita em ambiente arejado e em embalagens vedadas.

A TG da borra resultante do processo de destilação é mostrada na Figura 4.3. Neste caso, há uma perda mais lenta de massa até uma temperatura de 200°C. Comparada à TG da Figura 4.2, a borra da destilação é mais estável termicamente. Isso é esperado, pois os solventes foram retirados no processo de destilação.

Em torno de 200 °C inicia-se um segundo processo de perda de massa. Segundo Cozzani *et al* (1999) pode esta fração ser chamada de fração não volátil da amostra. É uma curva típica da decomposição térmica de compostos orgânicos. Nessa faixa de temperatura entram em decomposição as resinas acrílicas, os oligômeros e os monômeros. Dada a temperatura de ocorrência dessa perda de massa, a estocagem da borra resultante do processo de destilação não oferece risco imediato de explosão.

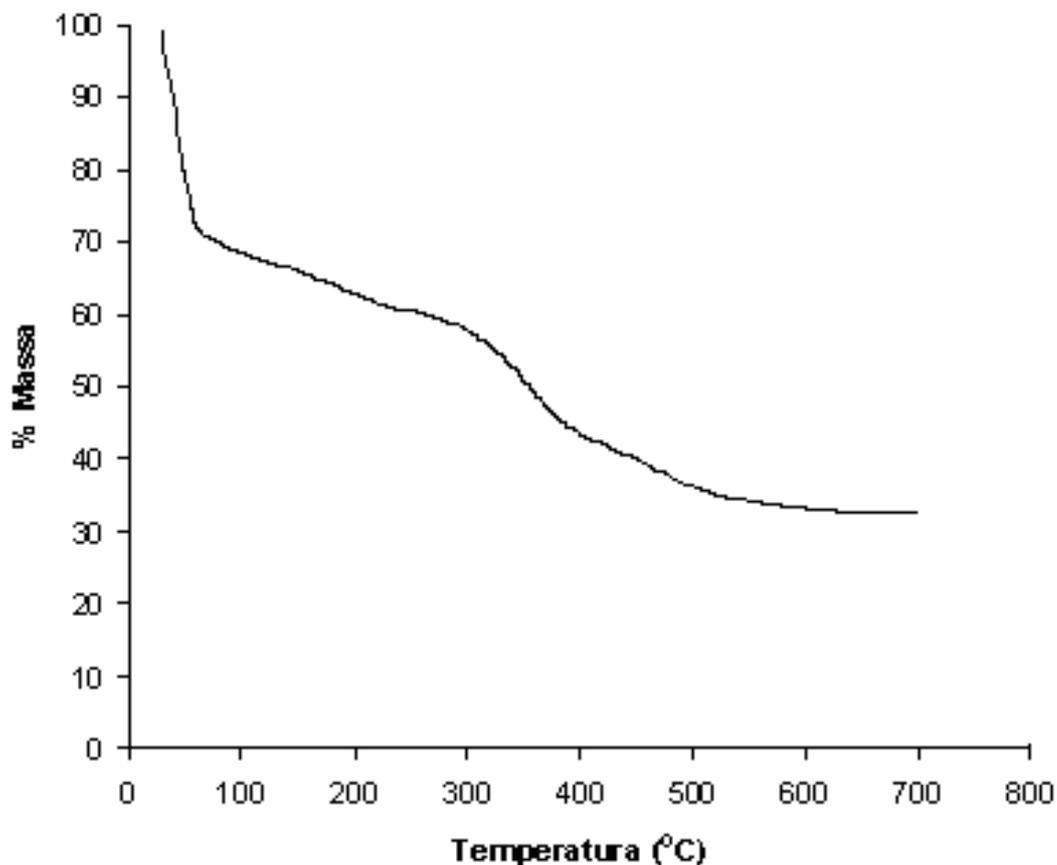


Figura 4.2: TG em ar obtida antes da destilação da amostra 2 (*primer* + solvente, sem qualquer tratamento prévio).

Outro ponto importante dessa análise é o resíduo resultante da queima do produto. Pela Figura 4.2, observa-se que após a queima há cerca de 30% de resíduo. Na Figura 4.3, esse resíduo é próximo de zero, quando realizado com amostra após filtração.

Como na primeira análise a amostra 2 (*primer* + solvente) não sofreu tratamento prévio estão presentes a parte solúvel e insolúvel no solvente. Na segunda análise, a amostra foi primeiramente filtrada e depois submetida à destilação, conforme metodologia. Assim, ficou isenta da parte insolúvel e seus componentes foram decompostos termicamente. Os componentes insolúveis são as cargas inorgânicas adicionadas nas tintas, não decompostas na faixa de temperatura usada na análise.

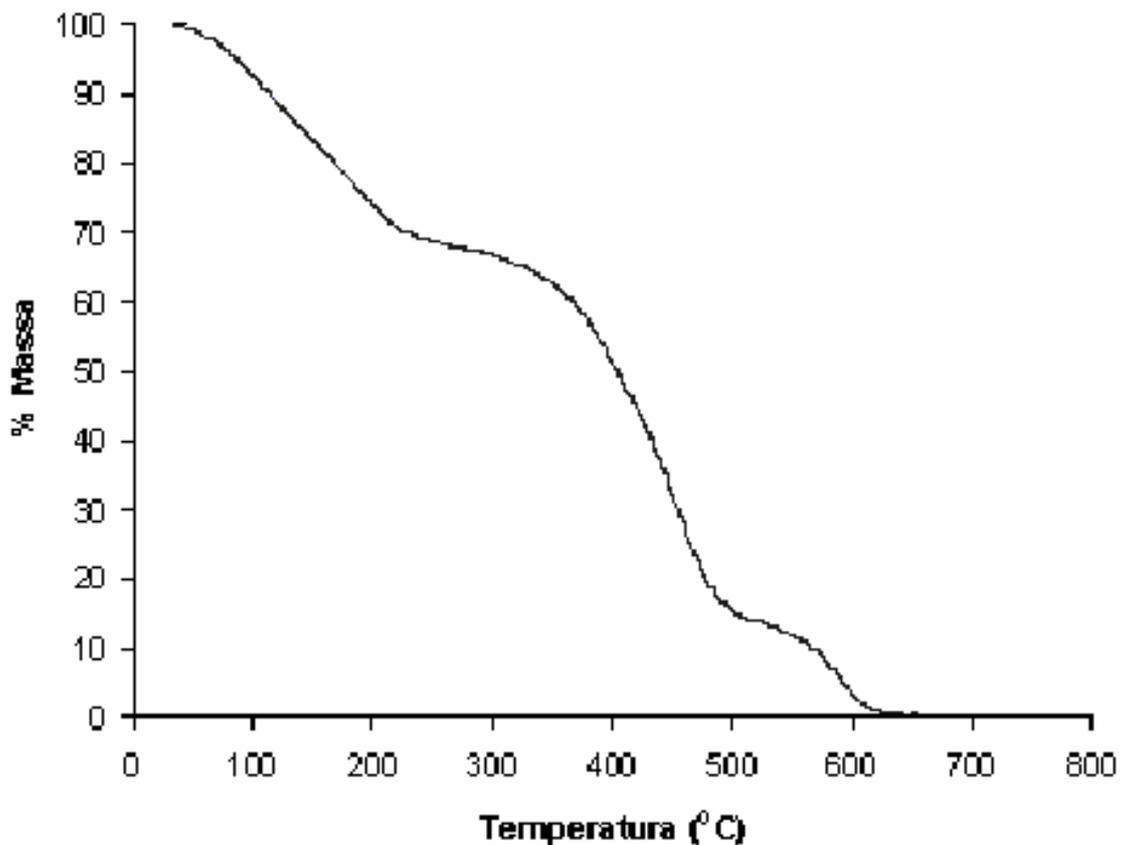


Figura 4.3: TG em ar da borra da destilação da amostra *primer*+solvente após a filtração.

A TG do resíduo da filtração da amostra 2, *primer* + solvente é mostrado na Figura 4.4. Foi submetido a esta análise apenas a parte da amostra 2 retida no filtro. Segundo Ruiz (2003), na faixa de 200-400°C ocorre perda de massa que pode estar associada à decomposição de compostos orgânicos, como os oligômeros e monômeros presentes na tinta. A partir de 600°C ocorre estabilização indicando provável presença dos compostos inorgânicos, citados anteriormente.

O resíduo da filtração da amostra 2, *primer* + solvente, apresenta boa estabilidade térmica e não oferece risco de explosão em seu armazenamento. Além disso, este resíduo pode ser utilizado na recuperação específica do *primer*, através da adição de solventes, cargas e demais componentes do produto.

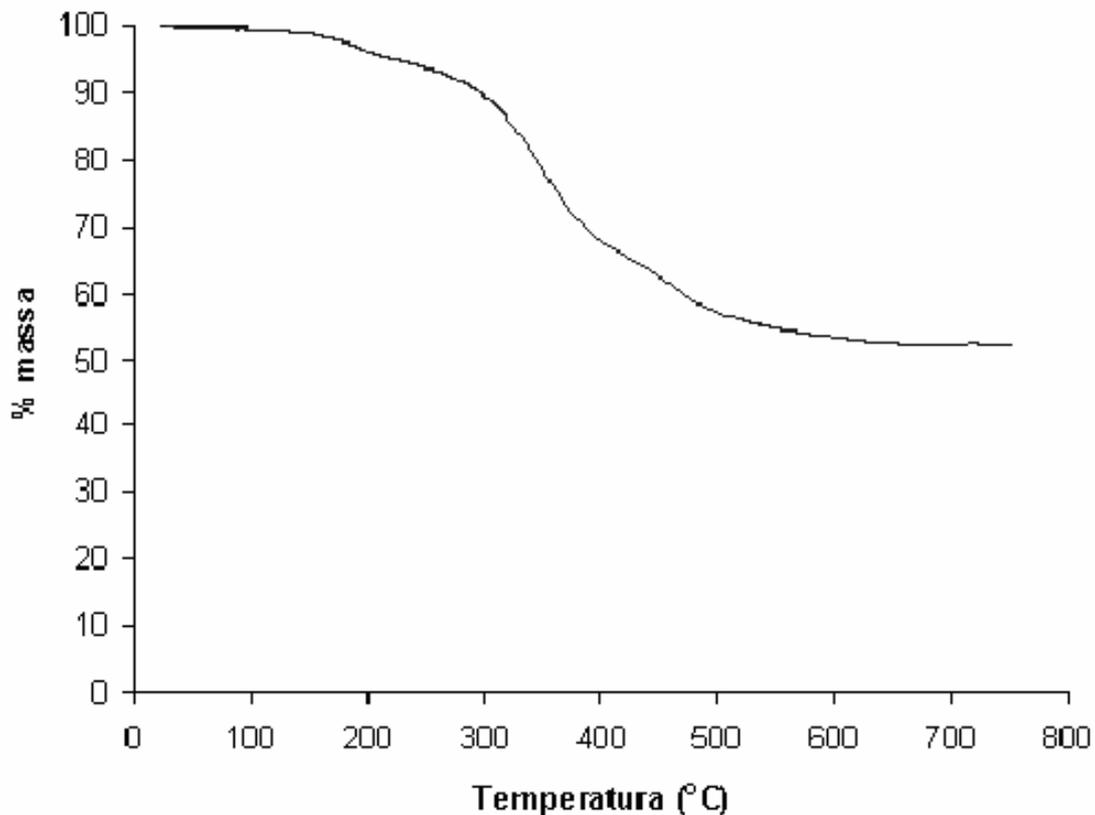


Figura 4.4: TG em ar do resíduo da filtração da amostra 1, *primer* + solvente.

O resultado da Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) em nitrogênio para a amostra 2- *primer* + solvente sem tratamento é mostrado na Figura 4.5. Segundo Lunghi *et al* (1998) o pico endotérmico apresentado entre 50-100°C corresponde à evaporação dos solventes mais voláteis. Levada (2008) atribui esse tipo de pico endotérmico tanto à evaporação dos solventes mais voláteis como à possível presença de subprodutos de menor peso molecular oriundos da irradiação UV.

No caso do resíduo da limpeza do equipamento de pintura, a irradiação UV ocorre apenas no momento da secagem da tinta. O pico endotérmico observado é atribuído à volatilização de uma fração, o que corrobora a perda de massa observada na curva TG.

O resultado da DSC em nitrogênio da borra de destilação da amostra 2, *primer*+ solvente é mostrado na Figura 4.6. Neste caso, a borra analisada é constituída da fração não volátil ocorrendo a decomposição gradual da amostra. Aqui não é observado nenhum evento térmico que caracterize a existência de reações cruzadas, não

oferecendo riscos imediatos de explosão à estocagem da borra.

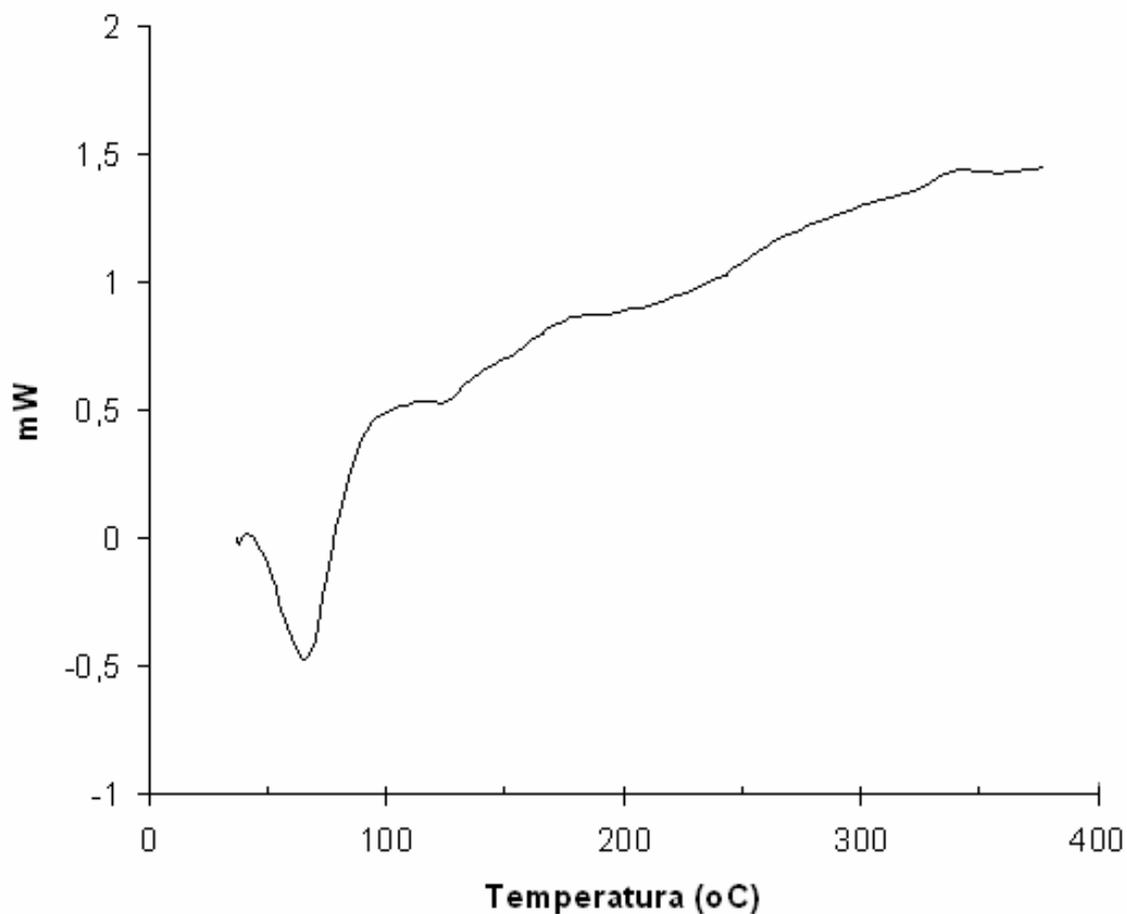


Figura 4.5: DSC em nitrogênio da amostra de *primer* + solvente antes da destilação.

Estas análises confirmam o resultado obtido pela TG. O resíduo da limpeza do equipamento de pintura apresenta baixa estabilidade térmica, pois a evaporação de solventes ocorre em baixas temperaturas, o que favorece o risco de explosão. A existência de reações cruzadas seria outro fator de instabilidade térmica, entretanto, não é observado nesta análise. Uma vez que o solvente foi removido por destilação, a amostra apresenta melhor estabilidade térmica, e pode ser armazenada sem risco imediato de explosão.

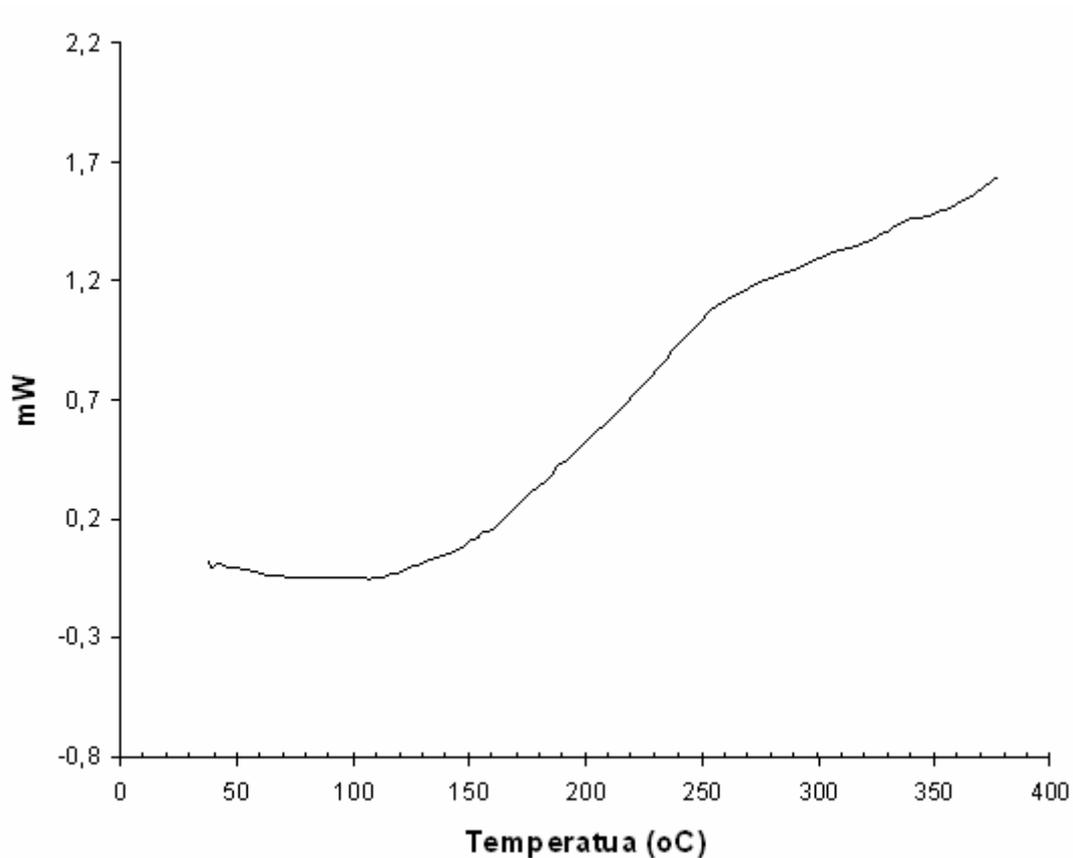


Figura 4.6: DSC em nitrogênio realizada para a borra da destilação da amostra 2 (*primer* + solvente).

O resultado da DSC realizada para o *primer* (resíduo obtido pela filtração da amostra 2) é mostrado na Figura 4.7. Vale salientar que a caracterização térmica foi feita para as três amostras. Aqui, discute-se apenas a amostra 2 *primer* + solvente, por ser esta a amostra que apresentou melhor rendimento no processo de destilação. Os resultados obtidos foram semelhantes para as demais amostras. Isso ocorre porque, na amostra 1, verniz + solvente, difere da amostra 2, *primer* + solvente, pela presença de componentes do *primer*. A amostra 3, mistura do resíduo, contém *primer*, verniz e solvente. A filtração remove os componentes insolúveis, tornando a composição das amostras mais homogênea, o que se reflete no comportamento térmico delas.

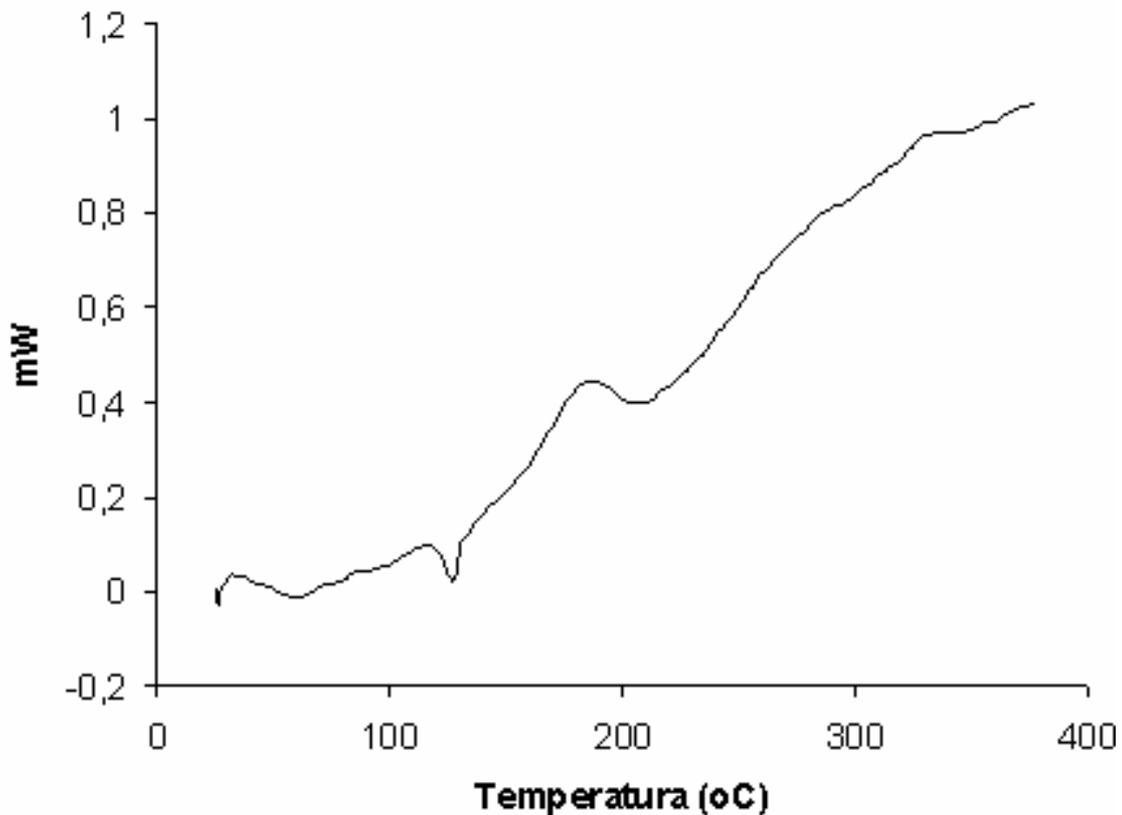


Figura 4.7: DSC realizada em nitrogênio para o *primer*, resíduo obtido a partir da filtração da amostra 2 (*primer* + solvente).

4.3 Teste de investigação do poder de limpeza do solvente recuperado

Os testes para investigar o poder de limpeza do solvente recuperado comparado ao solvente novo geraram os resultados mostrados nas Tabelas 4.7 e 4.8.

Os resultados mostram o decréscimo do poder de limpeza à medida que se aumenta a concentração de solvente recuperado. Para as soluções contendo thinner e solvente recuperado a 10 e 20% os percentuais de limpeza são bastante próximos. Para as soluções com solvente a base de cetona puro, e com um acréscimo de 10% de solvente recuperado os percentuais de limpeza são próximos. Vale ressaltar aqui que, a adição de uma porcentagem de solvente recuperado ao solvente novo representa uma economia de cerca de 30% para a empresa.

Tabela 4.7: Poder de limpeza do solvente recuperado, em relação ao *Thinner*.

Soluções	% de remoção
P1	86,27
P2	80,54
P3	79,13
P4	67,87
P5	40,96

Obs: P1= 100% de *Thinner*; P2= 10% de solvente recuperado; P3= 20% de solvente recuperado; P4= 50% de solvente recuperado e P5=100% de solvente recuperado.

Segundo Rosa (2007), a eficiência de uma mistura de solventes é avaliada pela perda de massa de um corpo de prova imerso na mistura solvente avaliado. Conforme Oliveira (1992), Horikawa (2003) e Zieba-Palus (2008), a diminuição do poder de limpeza do solvente recuperado em relação ao solvente novo acontece devido a perda dos componentes mais voláteis que pode acontecer durante os processos de lavagem do equipamento, estocagem do resíduo e destilação. A adição de solvente recuperado ao solvente novo promove uma incorporação daqueles solventes que foram perdidos. Assim na mistura o poder de limpeza aumenta.

Tabela 4.8: Poder de limpeza do solvente recuperado em relação ao solvente à base de acetona.

Soluções	% de remoção
P1	96,97
P2	95,50
P3	89,98
P4	87,44
P5	85,74

Obs: P1= 100% de solvente à base de cetonas; P2= 10% de solvente recuperado; P3= 20% de solvente recuperado; P4= 50% de solvente recuperado e P5=100% de solvente recuperado.

4.4 Taxa de evaporação do solvente

Os resultados dos testes para a evaporação do solvente são mostrados nas figuras 4.8, 4.9 e 4.10. Eles mostram as curvas de evaporação dos solventes recuperado a partir da destilação das amostras 1, 2 e 3; das amostras 1,2 e 3 sem tratamento e do solvente

comercial .

Observa-se que o comportamento durante a evaporação do solvente recuperado é semelhante à amostra 2 (*primer* + solvente) e ambos diferem do solvente comercial. Segundo ABRAFATI (2005), as interações entre o solvente e a tinta interferem diretamente em sua taxa de evaporação. O estudo da taxa de evaporação do solvente se justifica pela sua relação direta com a qualidade da tinta, além de interferir também em seu poder de limpeza. Além disso, condições adequadas de estocagem do resíduo podem levar à uma perda menor de componentes voláteis, melhorando com isso a qualidade do solvente recuperado.

Segundo Oliveira (1992), como a maioria das misturas de solventes se comporta como soluções não-ideais, é extremamente difícil prever sua composição durante a evaporação. Outro fator de relevância quanto à taxa de evaporação se relaciona à área superficial disponível para a evaporação.

Considerando o uso do solvente recuperado como diluente para uma nova resina ou tinta, ou sua reaplicação como agente de limpeza do equipamento de pintura, sua taxa de evaporação é relevante. No caso de resinas e tintas, a taxa de evaporação interfere na qualidade do filme formado, além de prejudicar a aderência do filme sobre a superfície e levar ao escoamento do produto. Para seu uso na limpeza do equipamento de pintura uma evaporação muito rápida ou muito lenta compromete a eficiência do processo.

O solvente comercial evapora de forma mais lenta e constante. Ele é uma mistura estável naquela condição, onde ainda não ocorreu exposição ao ambiente e nem interações com a tinta. Por outro lado, a evaporação é mais acentuada tanto no solvente recuperado quanto no resíduo. O solvente recuperado na destilação da amostra 2 (*primer* + solvente) já perdeu seus componentes mais voláteis. Na primeira hora a evaporação acontece mais rapidamente, devido à evaporação mais rápida dos compostos mais voláteis. Com o passar do tempo, a taxa de evaporação do solvente comercial não se altera muito, enquanto a taxa de evaporação da amostra sem tratamento e do solvente recuperado aumenta, confirmando um maior teor de componentes voláteis em relação ao solvente novo.

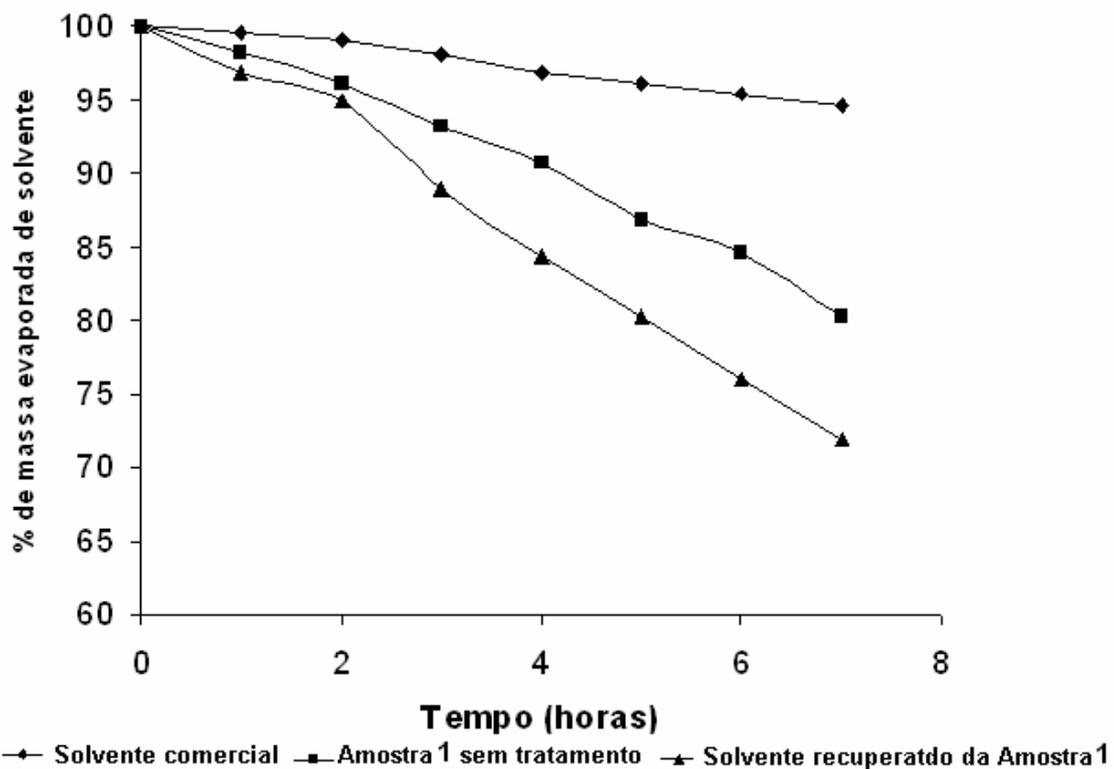
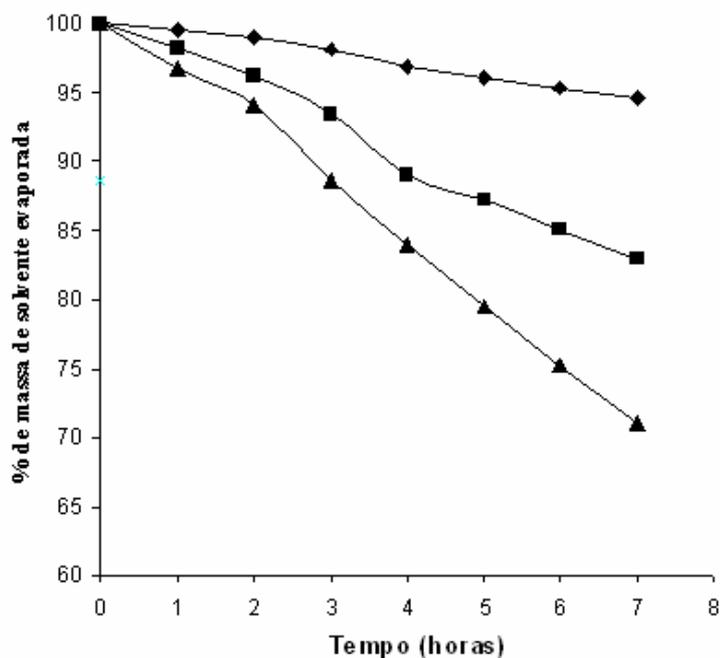


Figura 4.8: Comparação das curvas de evaporação para a Amostra 1, verniz + solvente.

O solvente recuperado apresenta maior teor de componentes voláteis em comparação ao solvente comercial. Esses solventes mais voláteis atuam como estabilizantes da formulação, não se relacionando ao poder de limpeza. Os solventes que se evaporam mais lentamente apresentam melhor poder de limpeza.

Durante este experimento de evaporação de solventes, alíquotas de solvente comercial foram coletadas e posteriormente submetidas à cromatografia. A análise cromatográfica confirmou a evaporação dos componentes mais voláteis primeiro, indicando que a evaporação de um solvente pode interferir na evaporação dos demais, evidenciando a complexidade da mistura. Este resultado é mostrado na Figura 4.11.

Apesar da semelhança entre os cromatogramas do solvente imediatamente após ser aberto e depois de quatro horas, em termos quantitativos sua variação foi bastante significativa. Na primeira situação, o acetato de etila apresentava uma área de 22% em relação à amostra total. Na segunda situação, após quatro horas de evaporação, a área relativa ao mesmo composto se reduziu para 18%.



—◆— Solvente comercial —■— Amostra 2 sem tratamento —▲— Solvente recuperado da Amostra 2

Figura 4.9: Comparação das curvas de evaporação para a amostra 2, *primer* + solvente.

Comparando com a última situação mostrada na Figura 4.11, ou seja, 4 dias de evaporação é fácil perceber a mudança na composição do solvente. O acetato de etila neste caso, já está praticamente esgotado da amostra, representando uma área de 0,44%.

É possível perceber também que foi novamente evidenciado a presença do etilbenzeno, um componente que não foi detectado nas duas primeiras situações. Isso acontece porque sua concentração na amostra é muito pequena, comparada aos demais componentes, além do fato de sua pressão de vapor ser muito baixa, como discutido anteriormente.

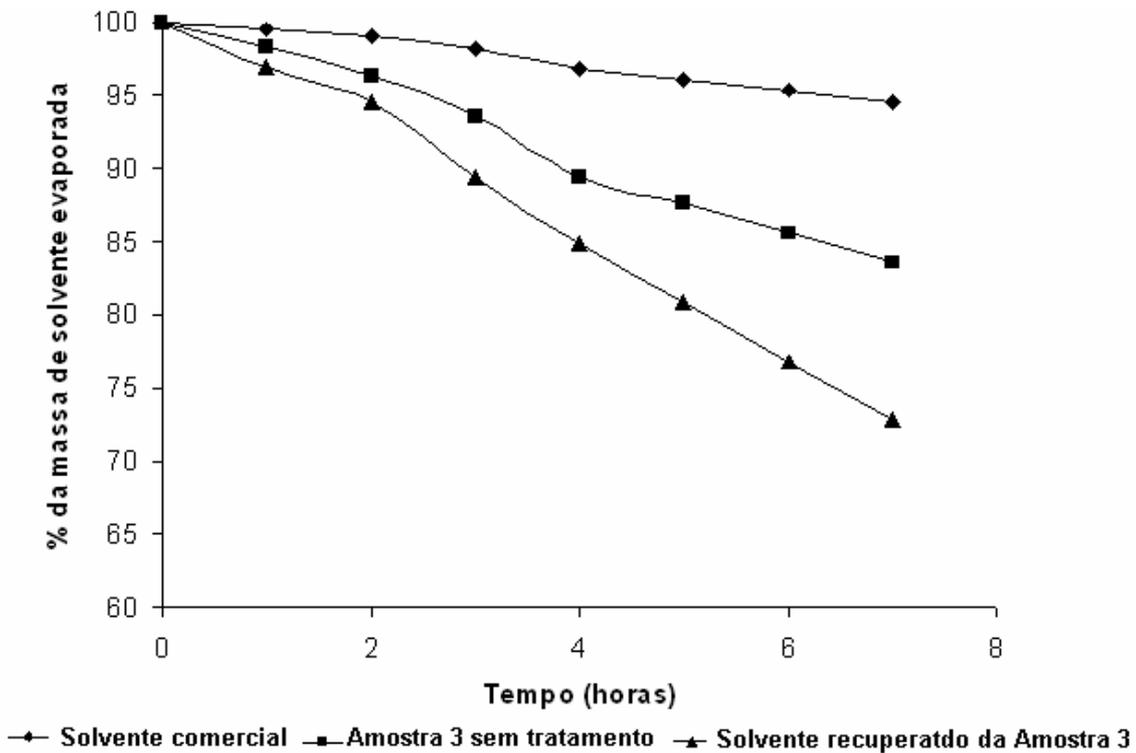
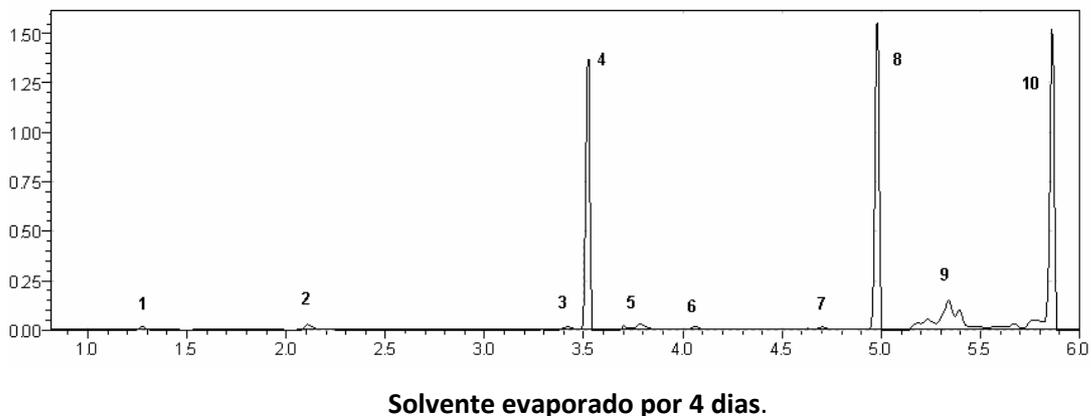


Figura 4.10: Comparação entre as curvas de evaporação para a Amostra 3, mistura.



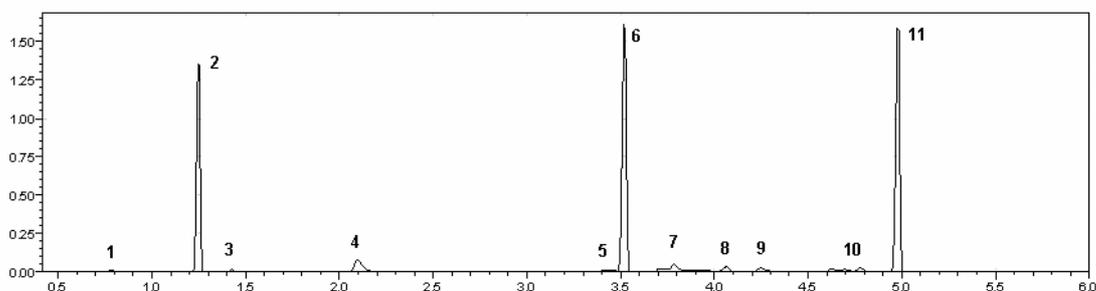
Solvente evaporado por 4 dias.
1- Acetato de etila; 2- 1-butanol; 3- 2 metil 2 pentanol; 4- metilisobutilcetona; 6- tolueno; 8- acetato de butila ; 10- etilbenzeno.

Figura 4.11: Cromatograma da evaporação de um solvente comercial.

4.5 Recuperação da borra de tinta resultante do processo de destilação

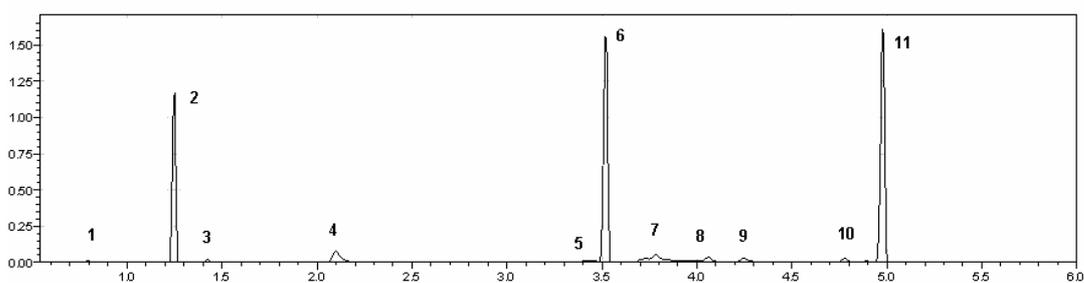
A borra resultante do processo de destilação requer um estudo mais aprofundado para viabilizar seu reaproveitamento. Segundo Rocha (2006), nem toda borra é apropriada ao fabrico de uma nova tinta, e cada borra determina o tipo de tinta que poderá ser

formulada. Para uma tinta inferior esse processo se configura em uma simples moagem que aplica força de cisalhamento provendo a dispersão dos aglomerados e adição de solventes.



Solvente imediatamente após ser aberto.

2- acetato de etila; 4- 1,1-dietoxietano; 6- metil isobutilcetona; 8- tolueno; 11- acetato de butila.



Solvente evaporado por 4 horas.

2- acetato de etila; 4- 1,1-dietoxietano; 6- metil isobutilcetona; 8- tolueno; 11- acetato de butila.

Já para uma tinta mais elaborada são necessários adição de aditivos e resinas o que encarece mais o produto. Para a formulação desse composto é necessário fixar os métodos de testes que vão estabelecer o quanto se deve adicionar de pigmento, resina e solvente, a viscosidade, o brilho, a granulometria das partículas, tensão superficial, cor, odor, toxicidade, densidade e, é claro, a relação entre o custo e o benefício da transformação desse resíduo em tinta.

O *primer* obtido na decantação e filtração das amostras 2 e 3 é mais facilmente recuperável. Verificou-se que, na amostra 2 (*primer* + solvente), o *primer* decantado e o resultante da destilação podem ser recuperados. Segundo Rocha (2006), esse processo

consiste, primeiramente, na homogeneização do resíduo, para que haja uma correta dispersão entre os sólidos (pigmentos e cargas) e o líquido (resina e solvente).

O *primer* decantado e filtrado foi dissolvido em solvente recuperado. O *primer* obtido apresentou densidade de 1,024 g/cm³, cerca de 18% abaixo da densidade do *primer* comercial, 1,205-1,600g/cm³, segundo a FISPQ fornecida pelo fabricante. A discrepância pode ser explicada pela ausência de pigmentos e resinas, não adicionados durante o experimento, além dos demais componentes solúveis que ficaram no solvente.

Os custos de fabricação do *primer* reciclado são em média 50% inferiores em relação ao original. Esse procedimento poderia ser adotado no Pólo Moveleiro de Ubá. Para isso, torna-se necessário um estudo da viabilidade econômica dessa recuperação já que requer a segregação do material gerado na linha de pintura. Em se tratando de escala industrial este fator pode representar um custo adicional para empresa. Mas por outro lado, seria mais um produto resultante da recuperação desse resíduo que voltaria ao mercado.

4.6 Proposta de gerenciamento dos resíduos do processo de pintura de móveis

O resíduo proveniente do processo de pintura de móveis pode ser enviado para outras indústrias licenciadas que o utilizam como matéria-prima, voltando novamente ao mercado consumidor, não necessitando que a própria empresa empregue a reciclagem. As principais vantagens dessa medida estão na exclusão do gasto com a manutenção e no investimento dessa tecnologia, além da incorporação ao sistema da compra de solvente reciclado para redução de custos. Ressalta-se aqui, que o solvente recuperado deve ter uma eficiência de limpeza adequada para se tornar um produto apreciado no mercado. Esse procedimento resguardaria também a questão relacionada à segurança e saúde ocupacional, uma vez que, na indústria de móveis, um dos principais riscos presentes é o risco químico.

Além disso, deve-se considerar que paralelamente à recuperação, o desenvolvimento de uma metodologia de gerenciamento do resíduo dentro da empresa também se torna relevante, não apenas para minimizar a geração de resíduo, mas também para definir áreas de estocagem e o ciclo de vida da matéria prima dentro da empresa.

Considerando o Pólo Moveleiro de Ubá, constata-se a inexistência de um programa para a gestão de resíduos proveniente da linha de pintura UV: o solvente e a borra de tinta, interesse desse trabalho. De acordo com Silva *et al.* (2006), na maioria das indústrias, principalmente nas indústrias de pequeno porte, esse resíduo é descartado no ambiente sem qualquer preocupação com o impacto causado em um curso de água ou no solo, como também já foi citado anteriormente.

Com base no volume de resíduo gerado e nos danos ambientais provenientes de seu descarte inadequado, a reciclagem deste material, através da recuperação do solvente utilizado promovendo seu retorno para a linha de produção e a reutilização da borra de tinta para a fabricação de uma tinta de segunda linha torna-se uma solução interessante, tornando viável, economicamente sua segregação na fonte geradora. A primeira etapa seria a segregação do resíduo do processo de limpeza do equipamento de pintura, pois, como confirmado por este estudo, a segregação se relaciona diretamente com o rendimento do solvente recuperado.

5 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do grande volume de solventes orgânicos usados na indústria moveleira, verificou-se a importância de investigar alternativas para a recuperação do resíduo do processo de limpeza da linha de pintura de móveis, por tratar-se de um resíduo constituído por compostos orgânicos voláteis e tóxicos, que podem causar riscos à saúde da população como também ao meio ambiente e pela falta de informação sobre como o setor moveleiro tem trabalhado esta questão.

A recuperação de solvente dentre as tecnologias apresentadas para o destino adequado do resíduo de lavagem do equipamento de pintura UV, se mostrou mais satisfatória, por ser possível a transformação desse resíduo em produto viável para o mercado, tanto retornando à indústria moveleira quanto em sua utilização como solvente para usos diversos.

O processo de destilação como meio de viabilizar a recuperação desse rejeito tem sido muito usado. Os resultados obtidos também demonstraram a viabilidade da recuperação do solvente através da destilação a vácuo e sua reutilização no processo produtivo. Os valores encontrados mostram uma eficiência de 80%.

Considerando o solvente recuperado, comprovou-se, através do índice de refração e pela CG-MS, que após as destilações realizadas, esse produto constituía-se em uma mistura de diferentes solventes. A identificação dos componentes em cada destilado pela cromatografia foi importante no estudo de reutilização deste produto. Uma quantificação dos componentes contribuiria na sua reformulação, uma vez que a recuperação se voltaria à restituição de componentes específicos.

O uso dos solventes recuperados na limpeza de equipamentos das indústrias moveleiras com uma eficiência de remoção de 80%, pode ser alcançado com uma adição de solvente recuperado ao solvente comercial novo, na proporção de concentrações entre 10 a 30%. O uso de solvente 100% não é viável, pois a perda do poder de limpeza nessa condição é acentuada.

Ainda se esses destilados fossem usados para a diluição de tinta, seria necessário um adequado balanceamento dos solventes para a otimização das propriedades dos filmes de pintura, o que é possível com a quantificação dos seus componentes.

Quanto à borra de tinta que é gerada na destilação, aponta-se o uso dessa para a fabricação de uma tinta secundária, por esse material possuir em sua estrutura compostos necessários na fabricação de tinta. Para uma tinta inferior esse processo se configura em uma simples moagem que aplica força de cisalhamento promovendo a dispersão dos aglomerados e adição de solventes. Já para uma tinta mais elaborada são necessários adição de aditivos e resinas o que encarece mais o produto. Para a formulação dessa tinta é necessário um estudo mais aprofundado além de se fixar os métodos de testes, que vão estabelecer o quanto se deve adicionar de pigmento, resina e solvente, a viscosidade, o brilho, granulometria das partículas, tensão superficial, cor, odor, toxicidade, densidade e é claro a relação entre o custo e o benefício da transformação desse resíduo em tinta. Nem toda borra é útil na formulação de uma nova tinta, ainda que de segunda linha. Além disso, as características desta borra é que determinam que tipo de tinta poderá ser formulado. O *primer* pode ser reciclado mais facilmente. A sua dissolução em solvente já permite seu uso como fundo para materiais menos nobres.

Portanto, com esse levantamento de informações, já é possível direcionar um caminho para reciclar esse resíduo de classe I dentro do Pólo, já que esse tem um grande potencial para isso. O importante é definir o destino que se pretende dar para os produtos reciclados e trabalhar cada vez mais para melhoria de sua qualidade, garantido assim uma maior demanda dos mesmos. Torna-se interessante ressaltar que para isso será preciso estruturar uma logística que envolva a geração desse material, o armazenamento, o transporte, os equipamentos utilizados e sua manutenção, a contratação de funcionários e a partição dos gastos e lucros. Assim, será possível contribuir para solucionar um problema ambiental.

REFERÊNCIAS

- ABIMÓVEL - Associação Brasileira das Indústrias do Mobiliário. Panorama do setor moveleiro no Brasil. Informações Gerais, agosto de 2005. Disponível em: < www.abimovel.com.br> - Acesso em 23 out 2005.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Resíduos sólidos – Coletânea de Normas. ABNT NBR 10004. ABNT NBR 10005. ABNT NBR 10006. ABNT NBR 10007. Rio de Janeiro: ABNT. 2004.
- ABRAFATI- (Associação Brasileira dos Fabricantes de Tintas), Tintas e Vernizes- Ciência e Tecnologia, Fazenda, J. M., Diniz, F. D., 3ª Edição, São Paulo, SP, Brasil, 2005.
- ABREU, L. C. M.; SOARES, V. P., SOUZA, A. L. Diagnóstico de consumo e suprimento de produtos madeireiros no setor moveleiro de Ubá. *Revista Árvore*. Viçosa. MG. v.26, n 2.. p. 155-164. 2002
- BFM Ltd (Association of British Furniture Manufacturers). National Environmental Technology Centre Reducing solvent use in the furniture industry. . Environmental Technology Best Practice Program. UK.1999.
- BFM Ltd (Association of British Furniture Manufacturers). National Environmental Technology Centre Solvent management in practice: industry examples. Environmental Technology Best Practice Program. UK. 1998.
- BURNS, D. T., DOOLAN, K. P. A comparison of pyrolysis-gas chromatography-mass spectrometry and fourier transform infrared spectroscopy for the characterization of automotive paint samples. *Analytica Chimica Acta*, v. 539, p. 145-155, 2005.
- CPEO Pyrolysis 1998. Disponível em <http://www.cepeo.org/techthree/tdescript/pyrols.htm>. Acessado em 20/06/2009
- COZZANI, V., GIULIANO NARDINI, LUIGI PETARCA, SEVERINO ZANELLI, Analysis of an accident at a solvent recovery plant, *Journal of Hazardous Materials*, v. A67, p. 145-161, 1999.
- CROCCO, M.A., SANTOS, F., SIMÕES, R., HORÁCIO, F. Pesquisa industrialização descentralizada: sistemas industriais locais. O Arranjo Produtivo Local de Ubá. Belo Horizonte: CEDEPLAR, 2001.
- D'ALMEIDA, M. L. O.; VILHENA, A. Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado. São Paulo: IPT:CEMPRE, 2000.

- DURSUN, D., SENGUL, F. Waste minimization study in a solvent-based paint manufacturing plant. *Resources Conservation & Recycling*, v.47, p. 316-331, 2006.
- DOSSIN, R. Muniz, A. R. C. Reciclagem de borra de tinta por pirólise. Disponível em <http://ucs.br/ucs/tplJovenspesquisadores2004/pesquisa/jovenspesquisadores2004/programação/trabalhospdf/exatas/ricardodossin.pdf> . Acesso em 10/03/2009.
- ECOSOCER. Recuperação de Solventes e Resíduos, Ltda, Pombal, 1996. Disponível em: [http:// www.ecosocer.com.br](http://www.ecosocer.com.br).
- ENDERLE, R. A.; CÁRIO, S. A.; NICOLAU, J. A.; Estudo do Arranjo Produtivo Local Madeireiro do Vale do Iguaçu (PR/SC): capacitação tecnológica e política de desenvolvimento. *Revista Paranaense de Desenvolvimento*, Curitiba, n.108, p. 113-141, janeiro/junho 2005.
- EPA- Environmental Protection Agency. Harzadous waste management system: identification and listing of harzadous waste; conditional exclusions from harzadous waste solid and solid waste for solvent-contaminated industrial wipes-proposed rules. *Federal Register*, v. 68, n 224. 2003.
- EURITS. Methodology for the determination of technical co-Incineration Criteria, 1996, *Eurits Publication*, Disponível www.eurits.org
- FORMOSINHO S., PIO C., BARROS H. e CAVALHEIRO J. Parecer Relativo ao Tratamento de Resíduos Industriais Perigosos. Principia, Estoril, 2000.
- GIARETTA, E.; Muniz, A. R. C; Muniz L. A. R.; Altafini, C. R. Reciclagem da Borra de tinta via pirólise. Disponível em: http://www.ucs.br/ucs/tplJovensPesquisadores2006/pesquisa/jovenspesquisadores2006/trabalhos_pdf/exatas/edergiaretta.pdf. Acessado em 01/08/2009.
- GILBERT, J. M. Sistema de Gerenciamento Ambiental (Futura ISO 14001); São Paulo: IMAM, 2000.
- GORINI, A. P. F. Panorama do Setor Moveleiro no Brasil, com Ênfase na Competitividade Externa a Partir do Desenvolvimento da Cadeia Industrial de Produtos Sólidos de Madeira. *BNDES Setorial*, n. 8, Rio de Janeiro: BNDES, set. 1998. Disponível em: www.bndes.gov.br. Acessado em 21/04/2008
- INETI. Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial. *Guia Técnico: Setor das Indústrias Gráficas e Transformadoras de Papel*. Lisboa: INETI, 2000
- Disponível em: <http://www.netresiduos.com/file/SectorIndustriasGraficatransformadorasPapel.pdf>.
- HORIKAWA, C. S.; Transporte e Morfologia de Esquema de tintas Epoxi Poliamina

- Equivalente à Base de Solvente e Água. 2003. 113 folhas. Dissertação (Mestrado em Química) , Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, SP
- LAU, W., KOENIG, A. Management, disposal and recycling of waste industrial organic solvents in Hong Kong. *Chemosphere*. v. 44, p. 9-15, 2001.
- LELIS, A. T.; BRAZOLINI, S.; FERNANDES, J. L. G; CARBALLEIRA, G. A. L.; MONTEIRO, M. B. B.; ZENID, G. I. Biorremediação de Madeira em edificações. São Paulo: IPT, 2001. 54p.
- LEMASTER, G. K.; OLSEN, D. M.; YIIN, J. H.; LOCKEY, J. E.; SHUKLA, R.; SELECAN, S. G.; SCHRADER, S. M.; TOTH, G. P.; EVENSON, D. P.; HUSZAR, G. B.; Male reproductive effects of solvents and fuel exposure during aircraft maintenance. *Reproductive Toxicology*, V. 13, No. 3, p. 155–166, 1999.
- LEVADA, J. C.; Gestão e Gerenciamento dos Resíduos Químicos e Aplicação da Tecnologia de Destilação na Recuperação de Solventes Orgânicos: Estudo de Caso da Reciclagem de Xileno. 2008. 70 folhas. Dissertação (Mestrado em Ciências), Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, SP.
- LIMA, E. G., SILVA, D. A., Resíduos gerados em indústrias de móveis de madeira situadas no pólo moveleiro de Arapongas- PR, *Floresta*, v. 35, p. 105-116, 2005.
- LIMA, E. G.; Diagnóstico Ambiental de Empresas de Móveis em Madeira Situadas no Pólo Moveleiro de Arapongas. 2005. 150 folhas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Paraná. 2005.
- LUCIA, A., FINGER, E. J. Co-solvent selection and recovery. *Advances in Environmental Research*, v.8, p. 197-211, 2003.
- LUNGI, A., CATTANEO, M., CARDILLO P. Explosion during distillation in a solvent recovery plant, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, v.11, p.249-252, 1998.
- NAHUZ, M. A R., Resíduos da Indústria Moveleira, Divisão de Produtos Florestais IPT, III Seminário de Produtos Sólidos de Madeira de Eucalipto, São Paulo, SP, 2005.
- NUNES, W. G., FARAGE, R., REZENDE, A.A., VIEIRA, D.B., SILVA, C.M. Avaliação do potencial poluidor dos resíduos de madeira gerados pelas fábricas de móveis do Pólo Moveleiro de Ubá. In: XXXI Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitária y Ambiental. 12 a 15 de outubro de 2008. *Anais...* Santiago de Chile: AIDIS. 2008.
- OLIVEIRA. S. A.. Evaporação de misturas solventes. 1992. 159p. Dissertação de

- Mestrado (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP. 1992.
- ROCCA, A.C.C; BAROTTI, A. J.; CASARINI, D. C. P.; GLOEDEN, E.; STRAUS, E. L.; ROMANO, J. A.; RUIZ. L. R.; SILVA, L. M.; SAITO, L.M.; PIRES, M.C. LEÃO, M; L. G.; NETO, P. C.; COLLUCCI, R.; CUNHA, R. C.A. Resíduos sólidos industriais. CETESB, São Paulo. 2^a ed. 1993. 233p.
- ROCHA, Marçal Paim. Implantação de um sistema de gerenciamento de resíduos sólidos em uma fábrica de tinta. 2006. 91 folhas. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)- Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2006.
- ROSA, R.A.; VANCE, R.; CRUZ, C.W.; HABITANTE, S. M. Eficiência dos solventes de Guta-Percha usados nas intervenções endodônticas. Revisão da Literatura. SOLTAU Revista Virtual Odontol. Ano1, vol 3, 2007.
- RUIZ, Carmem Silva Bentivoglio. Avaliação da formação e degradação de filmes de verniz curados por radiação ultravioleta e feixe de elétrons expostos ao envelhecimento acelerado.2003. 246folhas. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.
- SALAZAR, Cleverson José. Estudo sobre a emissão de compostos orgânicos voláteis em tintas imobiliárias a base de solvente e água. 2006. 88 folhas. Dissertação (Mestrado em Química de Recursos Naturais)- Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2006.
- SBRT (Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas), Reciclagem de borra de tinta. Elaborada por Gabriela Oliveira Magalhães. CETEC-MG. 2007.
- SCHNEIDER, V. E. Gerenciamento ambiental: uma necessidade para a competitividade empresarial. In: HILLIG, É., SCHNEIDER, V. E., PAVONI, E. T. Orgs. *Pólo Moveleiro da Serra Gaúcha - Geração de resíduos e perspectivas para sistemas de gerenciamento ambiental*. Caxias do Sul: Educs, 2004, p. 65-82.
- SILVA, C.M. Proposta de Gerenciamento Integrado dos Resíduos Sólidos em Pólo Industrial de Móveis. In: VIII Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais... Fortaleza: ABES, 2006.
- SILVA, V. M. R.; CÂMARA, M. R. G.; A Indústria de Móveis em Londrina, Semina: Ciências Sociais e Humanas, Londrina, v.25 p.43-56. set-2004
- SINDSOLV- Sindicato Nacional do Comércio Atacadista de Solventes de Petróleo, disponível em <http://www.sindcolv.com.br> acessado em 10/03/2009.

- SPEIGHT, J. C. *Lang's Handbook of Chemistry*. 16^a Edição. McGraw-Hill Professional, USA. 2005
- STINGHEN, A. O. Co-processar, incinerar aterrar ou pirolisar? Estudo de caso: Resíduos PP. ABS, Borra de tinta. Iniversidade Regional de Blumenau. 2006.
- TSAI, S-Y; CHEN, J-D; CHAO, W-Y; WANG, J-D; Neurobehavioral effects of occupational exposure to low level organic solvents among Taiwanese workers in paint factories. *Environmental Research*, v. 73, p. 146-155, 1997.
- VAAJASAARI, K., KULOVAARA, M., JOUTTI, A., SCHULTZ, E., SOLJAMO, K. Hazardous properties of paint residues from the furniture industry. *Journal of Hazardous Materials*, v. 106A, p. 71-79, 2004
- YUAN- CHANG SU, CHIH-CHUNG CHANG, JIA-LIN WANG. Construction of an automated gas chromatography/mass spectrometry system for the analysis of ambient volatile organic compounds with on-line internal standard calibration. *Journal of Chromatography A*, vol. 1201, Issue 2, Agosto, 2008. Páginas 134-140.
- ZIEBA-PALUS, J., ZADORA, G., MICZAREC, J.M., KOSCIELNIAK, P. Pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometry analysis as a useful tool in forensic examination of automotive paint traces. *Journal of Chromatography A*. v. 1179, p. 41-46, 2008

APENDICES

APÊNDICE A

Resultados dos ensaios de Cromatografia

As frações 1A, 1B, 1C, pela destilação fracionada da amostra 1, verniz UV + solvente foram submetidas à CG para análise qualitativa. Os cromatogramas obtidos por CG para essas frações são mostrados nas figuras 1A, 2A e 3A.

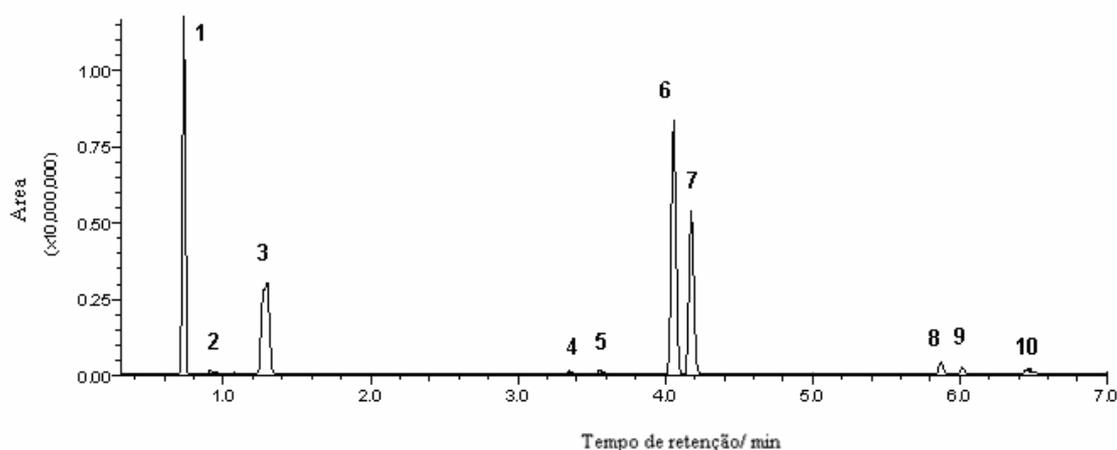


Figura 1A: Cromatograma da fração 1A do solvente recuperado após a destilação fracionada da amostra 1: Verniz UV + solvente.

Os picos identificados pelo tempo de retenção (TR) se referem às seguintes substâncias: 1- etanol; 2- 1-propanol; 3- acetato de etila; 4- 1,1 dietoxietano; 5- metilisobutilcetona; 6-tolueno; 7- 2,2dietoxipropano; 8- etilbenzeno; 9- o-xileno; 10- p-xileno.

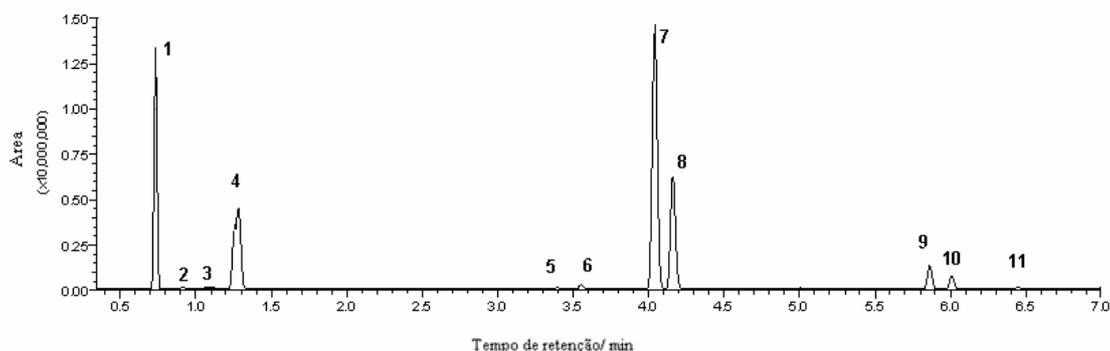


Figura 2A: Cromatograma da fração 1B do solvente recuperado após a destilação fracionada da amostra 1: Verniz UV + solvente.

Os picos identificados pelo se referem às seguintes substâncias: 1- etanol; 2- 1-propanol; 3- 2 butanona; 4- acetato de etila; 5- 1,1dietoxietano; 6- metilisobutilcetona; 7- tolueno; 8- 2,2 dietoxipropano; 9- etilbenzeno; 10- o-xileno; 11- p-xileno.

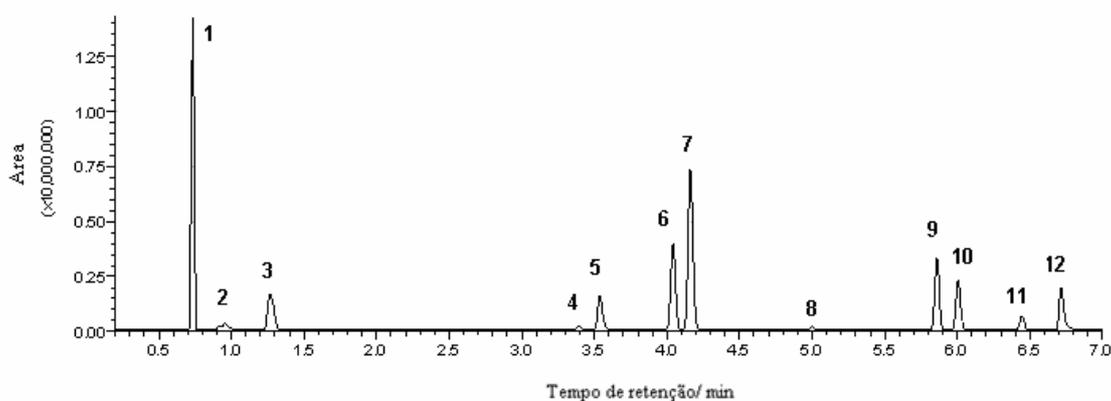


Figura 3 A: Cromatograma da fração 1C do solvente recuperado após a destilação fracionada da amostra 1: Verniz UV + solvente.

Os picos identificados pelo tempo de retenção se referem às seguintes substâncias: 1- etanol; 2- 1-propanol; 3- triclorometano 4- 1,1dietoxietano; 5- metilisobutilcetona; 6- tolueno; 7- 2,2dietoxipropano; 8- acetato de butila; 9- etilbenzeno; 10-o-xileno; 11-p-xileno; 12- etoxietilacetato.

Observou-se um perfil similar dos cromatogramas obtidos das frações e que elas apresentam os mesmos constituintes. A presença de um número maior de constituintes nas frações 1 B e 1 C, respectivamente, figuras 2A e 3A, pode ser atribuída à ordem que a fração foi coletada durante a destilação. Na fração 1A, a presença dos constituintes mais voláteis dificultou a identificação dos constituintes menos voláteis, devido a estes aparecerem, na amostra em questão, em porcentagens menores. À medida em que a destilação foi sendo desenvolvida, a porcentagem de componentes menos voláteis aumentou na amostra.

Observou-se também uma inversão na proporção dos picos de tolueno com 2,2 dietoxipropano. A pressão de vapor do tolueno é maior que a pressão de vapor do 2,2 dietoxipropano (Tabela 1.A). Na fração 1 A e 1B, o tolueno é eliminado primeiro, o que aumenta a porcentagem do 2,2 dietoxipropano na amostra 1C e consequente inversão no tamanho dos picos. Uma outra explicação seria a simples diferença na velocidade de injeção da amostra, situação que pode ocorrer em processo cromatográfico.

As frações 2A, 2B e 2C da amostra 2 (*primer* + solvente) são comparadas nos cromatogramas mostrados nas figuras 4A, 5A e 6A.

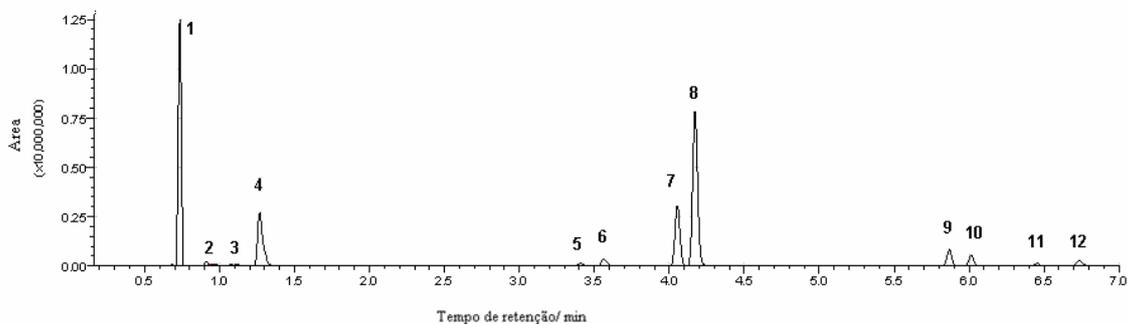


Figura 4A: Cromatograma da fração 2A obtida pela destilação fracionada da amostra 2: *primer* + solvente.

Os picos identificados pelo TR se referem às seguintes substâncias: 1- etanol; 2- 1-propanol; 3- 2-butanona; 4- acetato de etila; 5- 1,1 dietoxietano; 6- metilisobutilcetona; 7- tolueno; 8- 2,2-dietoxipropano; 9- etilbenzeno; 10- o-xileno; 11- p-xileno; 12- 2-etoxietilacetato.

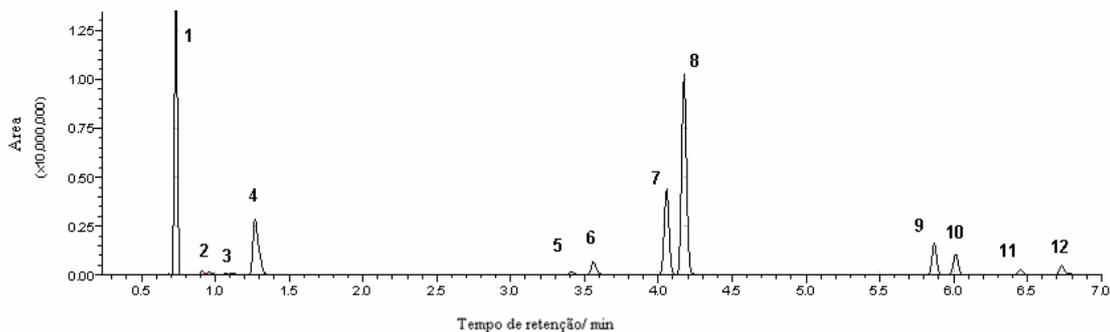


Figura 5A: Cromatograma da fração 2B obtida pela destilação fracionada da amostra 2: *primer* + solvente.

Os picos identificados pelo TR se referem às seguintes substâncias: 1- etanol; 2- 1-propanol; 3- 2-butanona; 4- 2 metil 1- propanol; 5- 1,1 dietoxietano; 6- metilisobutilcetona; 7- tolueno; 8- 2,2 dietoxipropano; 9- etilbenzeno; 10- o-xileno; 11- p-xileno; 12- 2 etoxietilacetato.

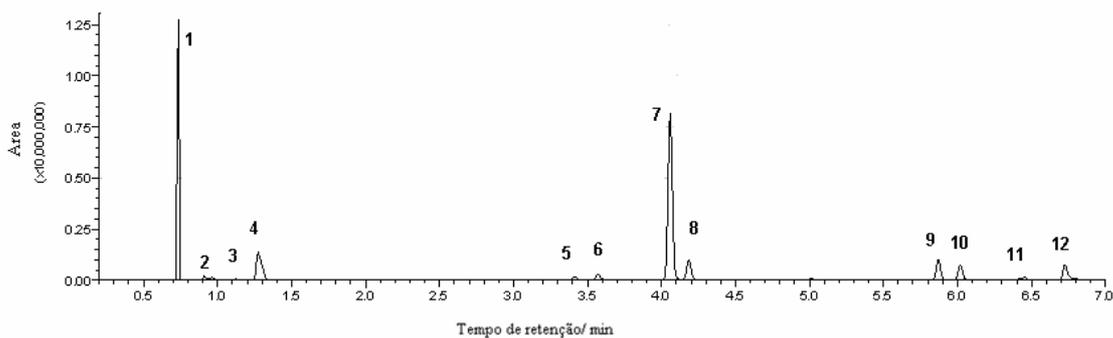


Figura 6A: Cromatograma da fração 2C obtida pela destilação fracionada da amostra 2: primer + solvente.

Os picos identificados pelo TR se referem às seguintes substâncias: 1- etanol; 2-1-propanol; 3- 2-butanona; 4-acetato de etila; 5- 1,1 dietoxietano; 6-metilisobutilcetona; 7- tolueno; 8- 2,2 dietoxipropano; 9- etilbenzeno; 10- o-xileno; 11- p-xileno; 12- 2 etoxietilacetato.

Dentro do erro do equipamento pode-se dizer que as frações 2A, 2B e 2C são iguais, conforme os dados da refratometria mostrados na Tabela 4.4. Esta similaridade é refletida no perfil dos cromatogramas. Em termos de constituição química, foi possível identificar e constatar que os mesmos componentes presentes em todas as três frações. Aqui, também, observa-se a inversão na proporção dos picos de tolueno e 2,2 dietoxipropano.

Os cromatogramas das frações 3A e 3B obtidas pela destilação fracionada são mostrados nas figuras 7A e 8A.

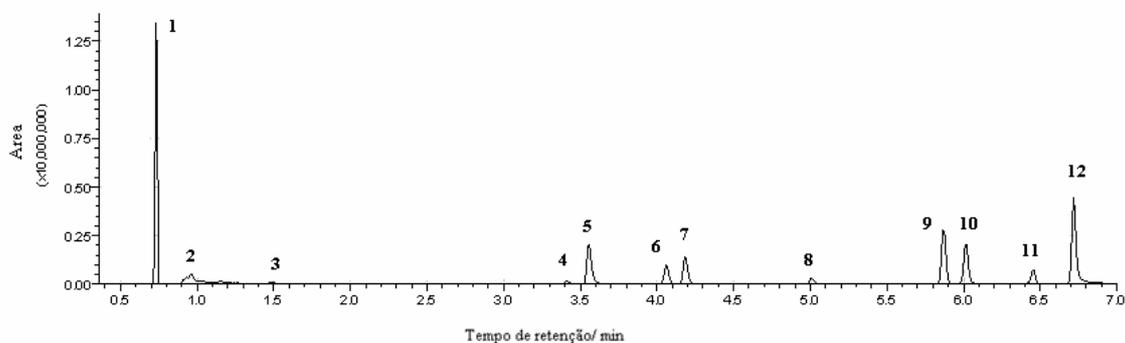


Figura 7A: Cromatograma da fração 3A obtida pela destilação fracionada da amostra 3-mistura.

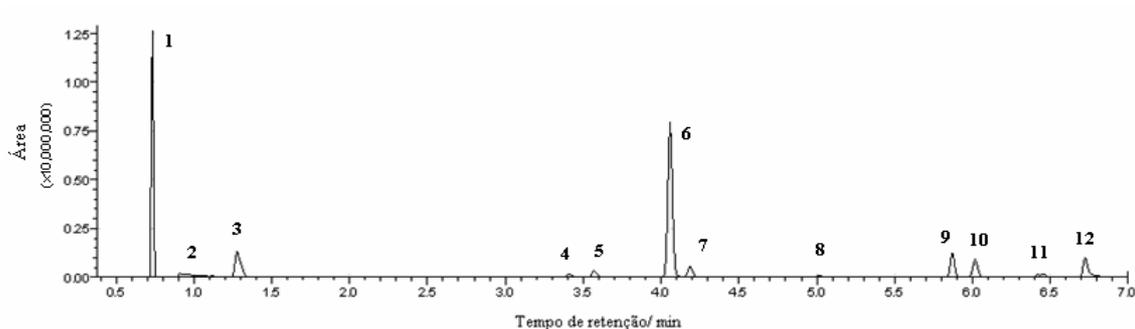
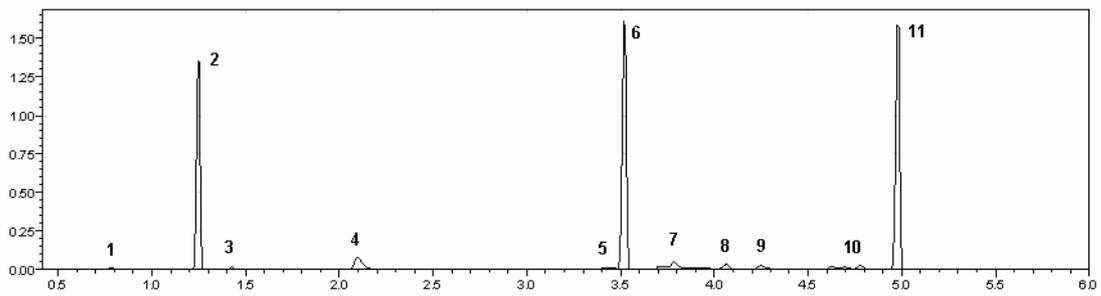


Figura 8A: Cromatograma da fração 3B obtida pela destilação fracionada da amostra 3, mistura.

Os picos identificados pelo TR se referem às seguintes substâncias: 1- etanol; 2- 1 propanol; 3- acetato de etila; 4- 1,1 dietoxietano; 5- metilisobutil cetona; 6- tolueno; 7 – 2,2 dietoxipropano; 8- acetato de butila; 9- etilbenzeno; 10 o-xileno; 11- p-xileno; 12- 2 etoxietil acetato.

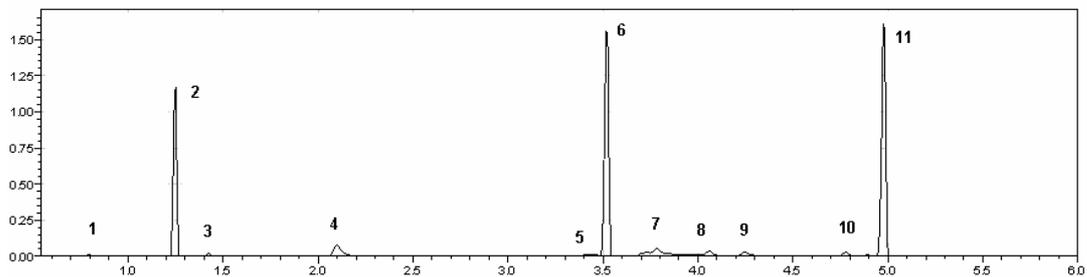
Na Figura 9A são mostrados os cromatogramas da evaporação de um solvente comercial. O cromatograma do solvente recuperado após a destilação simples da amostra 1 é mostrado na Figura 10A. O cromatograma é típico de um solvente comercial, elaborado com uma mistura de solventes, conforme discutido por ABRAFATI (2005). As substâncias identificadas neste cromatograma foram confirmadas através de espectroscopia de massa. Na Figura 11A é mostrado, a título de exemplo, o fractograma obtido para o pico 1.

No cromatograma da Figura 10A, o pico 12 referente ao 2-etoxietilacetato se mostrou mais evidente em relação aos demais cromatogramas apresentados. Esta substância possui uma pressão de vapor muito baixa, 2mmHg. As destilações em sistema aberto não permitem uma retirada significativa deste componente do resíduo. Na destilação a vácuo, a redução da pressão favorece a evaporação dos solventes.



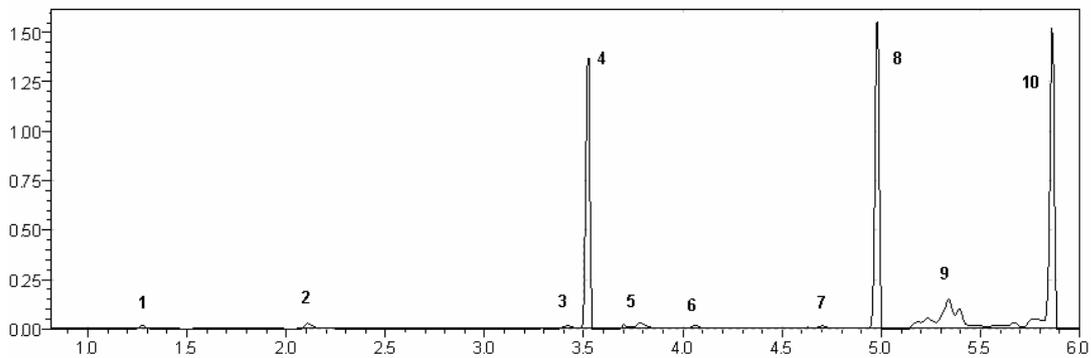
Solvente imediatamente após ser aberto.

2- acetato de etila; 4- 1,1-dietoxietano; 6- metil isobutilcetona; 8- tolueno; 11- acetato de butila.



Solvente evaporado por 4 horas.

2- acetato de etila; 4- 1,1-dietoxietano; 6- metil isobutilcetona; 8- tolueno; 11- acetato de butila.



Solvente evaporado por 4 dias.

1- Acetato de etila; 2- 1-butanol; 3- 2 metil 2 pentanol; 4- metil isobutilcetona; 6- tolueno; 8- acetato de butila ; 10- etilbenzeno.

Figura 9A: Cromatograma da evaporação de um solvente comercial.

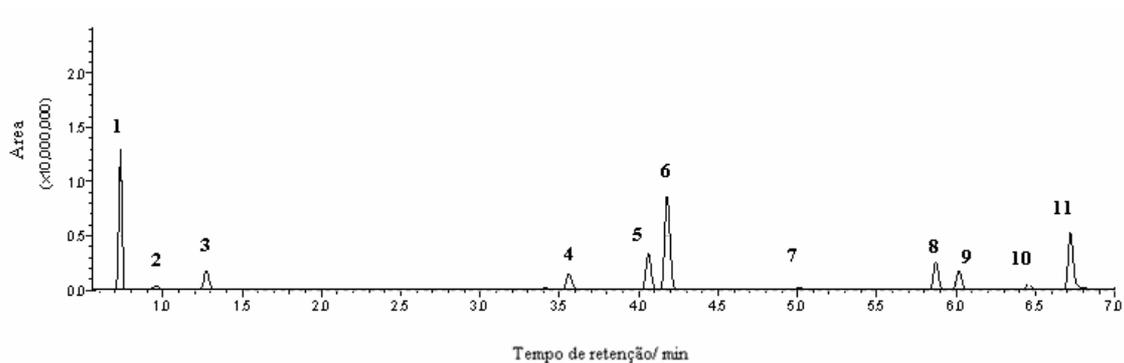
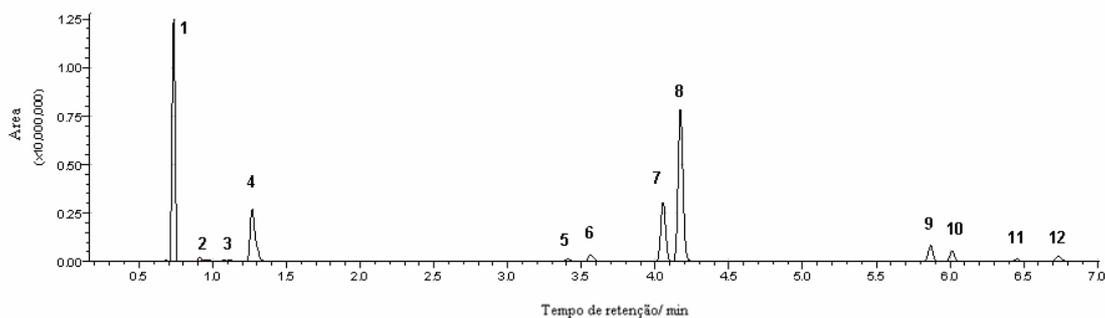


Figura 10A: Cromatograma do solvente recuperado após a destilação simples da amostra 1 *primer* + solvente.

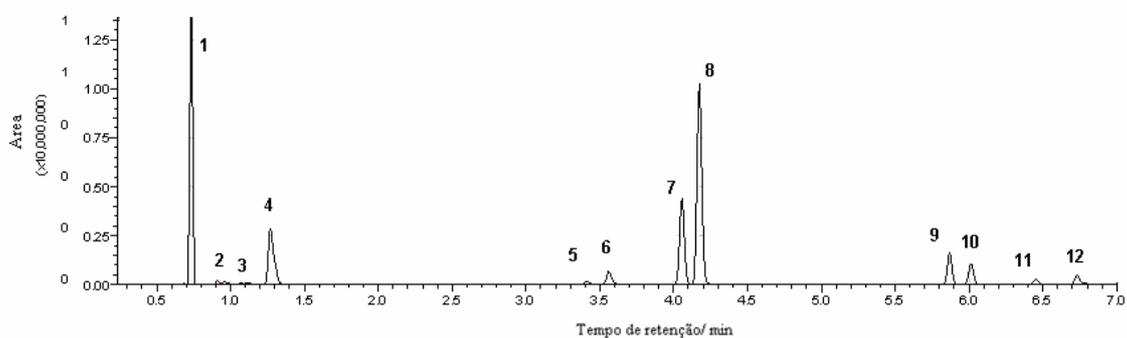
Os picos identificados pelo TR se referem às seguintes substâncias: 1- etanol; 2- 1propanol; 3- acetato de etila; 4- metilisobutilcetona; 5- tolueno; 6- 2,2 dietoxipropano; 7- acetato de butila; 8- etilbenzeno; 9- o-xileno; 10- p-xileno; 11- 2 etoxietil acetato.

Segundo Zieba-Palus *et al* (2008), e Oliveira (1992) as diferenças encontradas nas proporções dos picos 7 e 8 pode ser atribuída às diferenças na composição da mistura. Como os solventes se comportam como uma mistura não ideal, a medida que se varia a composição durante a evaporação varia também a quantidade desses solventes em cada amostra. Essas variações de composição podem favorecer ou não a evaporação de um determinado composto. Neste caso o solvente que reduziu a sua concentração na mistura foi o 2,2 dietoxipropano que possui pressão de vapor 17,5 mmHg, menor que a pressão de vapor do tolueno (28,4 mmHg). Assim a composição da mistura favoreceu a evaporação do 2,2-dietoxipropano. No caso do acetato de etila (pico 4), sua evaporação é favorecida pela sua elevada pressão de vapor, 93,2 mmHg.

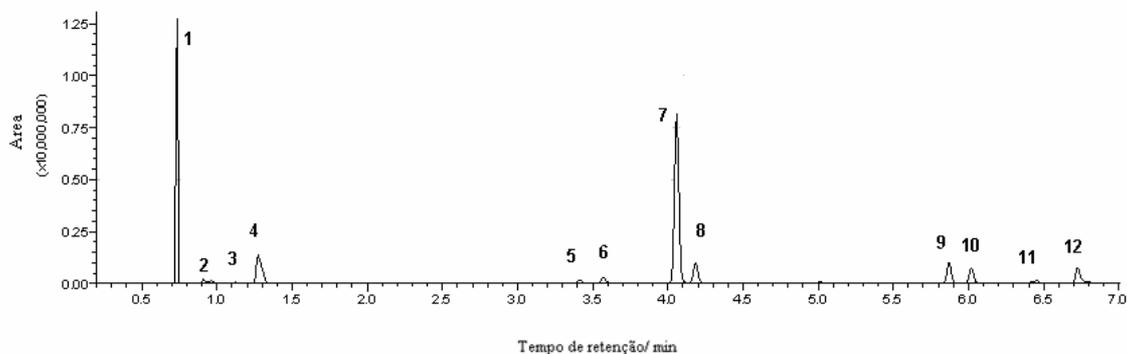
Ainda segundo Zieba-Palus *et al* (2008), nesse tipo de amostra, onde vários solventes estão presentes, muitos são indistinguíveis, baseados na observação da presença ou não de muitos picos. A Figura 11A mostra os cromatogramas das diferentes frações obtidas pela destilação fracionada da amostra 2- *primer* + solvente.



Fração 2A da amostra 2: *primer* + solvente



Fração 2B da amostra 2: *primer* + solvente



Fração 2C da amostra 2: *primer* + solvente.

Figura 11A: Comatogramas das frações obtidas pela destilação fracionada da amostra 2-*primer* + solvente.

Os picos identificados pelo TR se referem às seguintes substâncias: 1- etanol; 2-1-propanol; 3- 2-butanona; 4-acetato de etila; 5- 1,1 dietoxietano; 6-metilisobutilcetona; 7- tolueno; 8- 2,2 dietoxipropano; 9- etilbenzeno; 10- o-xileno; 11- p-xileno; 12- 2 etoxietilacetato.

O cromatograma obtido pela destilação a vácuo da amostra 2-*primer* + solvente é mostrado na Figura 12A.

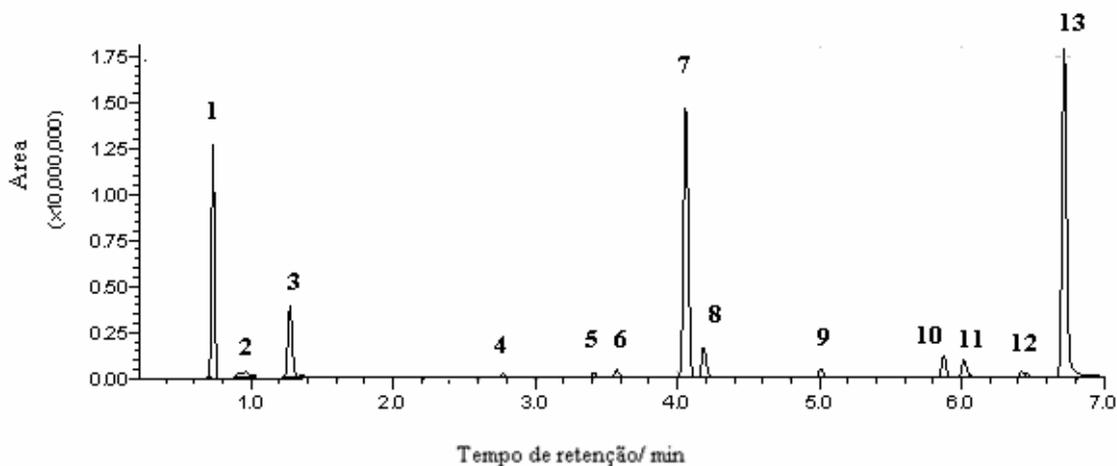


Figura 12A: Cromatograma do solvente recuperado a partir da destilação à vácuo da amostra 2-*primer* + solvente.

Os picos identificados pelo TR se referem às seguintes substâncias: 1- etanol; 2-1-propanol; 3-acetato de etila; 4- propenoato de etila; 5- 1,1 dietoxietano; 6- metilisobutilcetona; 7- tolueno; 8- 2,2 dietoxipropano; 9- acetato de butila; 10- etilbenzeno; 11- o-xileno; 12- p-xileno; 13- 2 etoxietilacetato.

A Figura 13A mostra o fractograma do etanol. São identificados os seguintes fragmentos principais: $m/z = 31$ ($[\text{CH}_2=\text{OH}]^+$); $m/z = 45$ ($[\text{CH}_3\text{CH}=\text{OH}]^+$) e $m/z = 46$ ($[\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}]^+$), característicos da fragmentação do etanol.

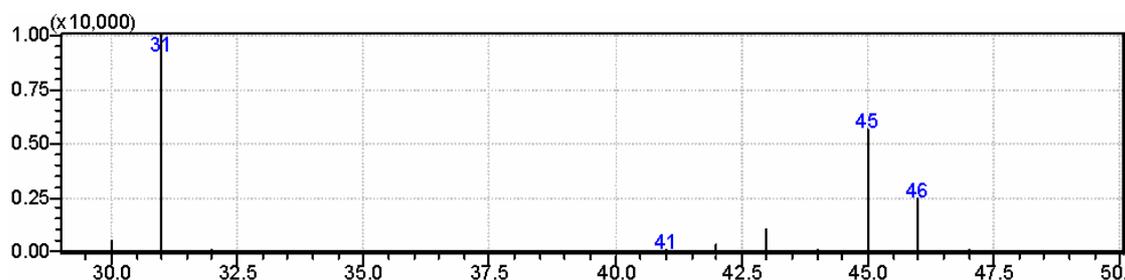
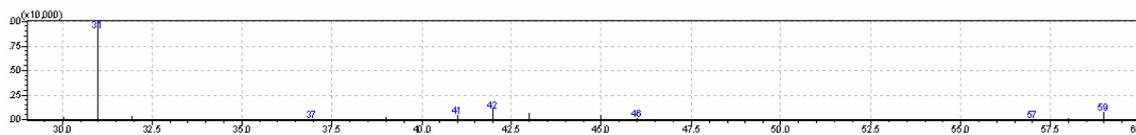
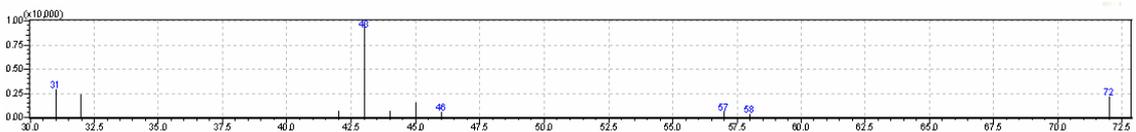


Figura 13A: Fractograma obtido para o pico 1 (etanol).

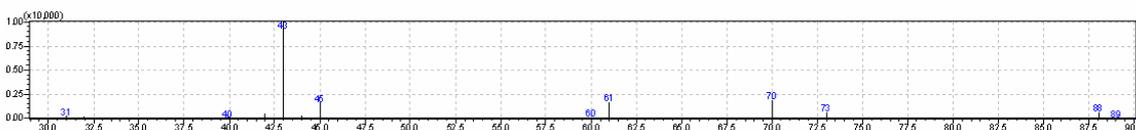
Na figura abaixo outros fractogramas são mostrados.



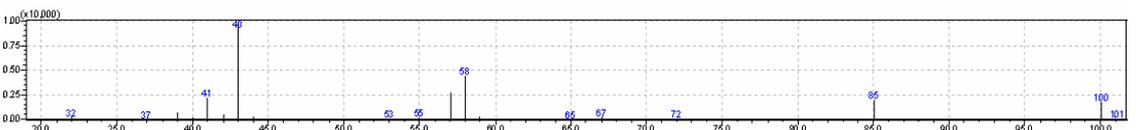
1 Propanol



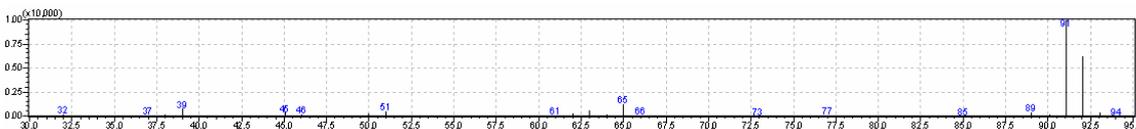
2 butanona



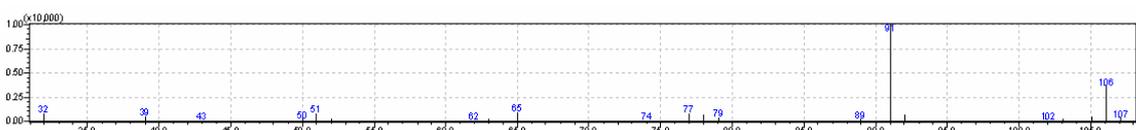
Acetato de Etila



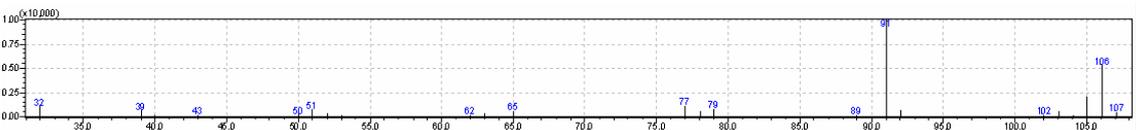
Metilisobutilcetona



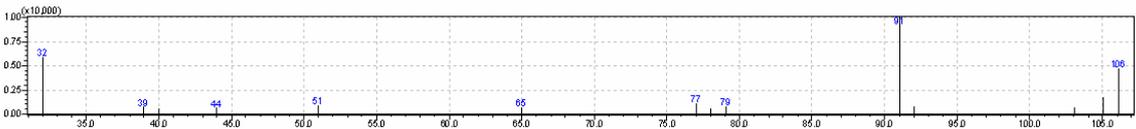
Tolueno



Etilbenzeno



o-xileno



p-xileno

Figura 14A: Fratogramas obtidos para alguns solventes identificados

APÊNDICE B

Resultados da Análise Térmica

O resultado da Termogravimetria realizada para a amostra 1- verniz UV + solvente sem qualquer tratamento é mostrado na Figura 1B..

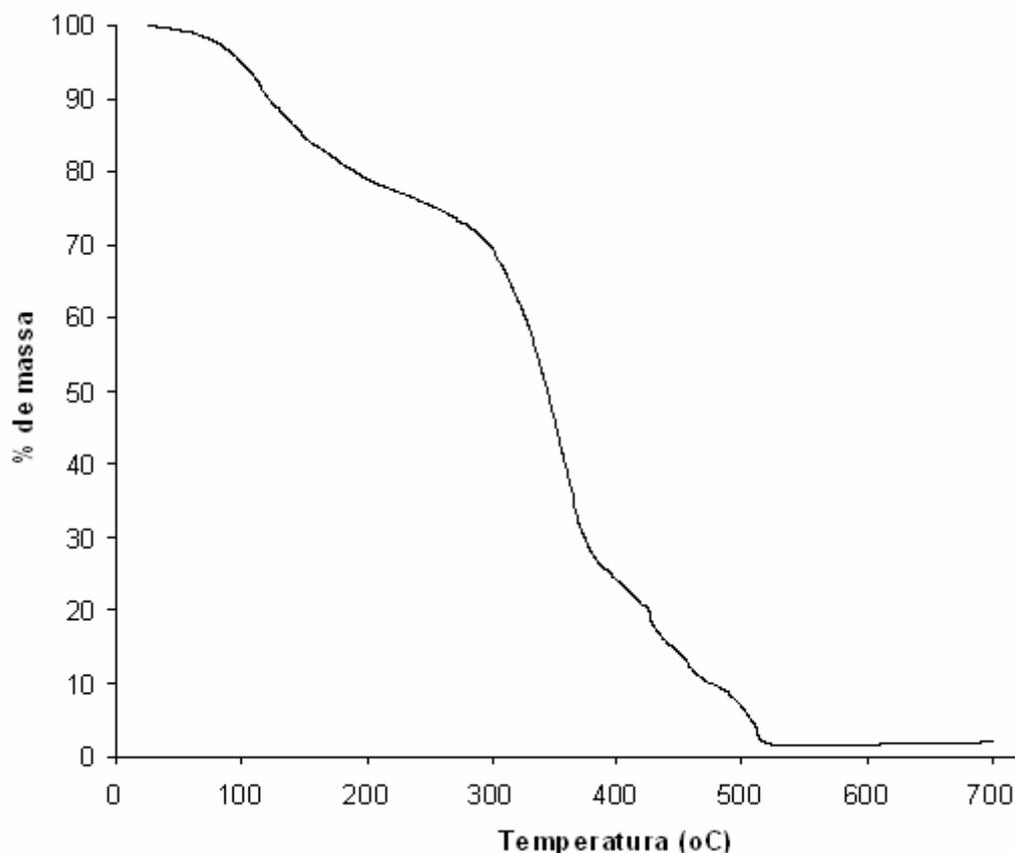


Figura 1B: Termogravimetria em ar da amostra 1 (verniz UV + solvente) sem qualquer tratamento.

A curva termogravimétrica da amostra verniz + solvente mostra quatro estágios de perda de massa. O primeiro, até cerca de 100°C, está associado à volatilização do solvente. Entre 100 e 180°C há um estágio que corresponde à volatilização do foto indicador, presente no verniz UV. Entre 200 e 400°C ocorre a decomposição da resina. Em torno de 400°C se inicia o processo de decomposição térmica do produto da polimerização do monômero. Este resultado está de acordo com o estudo realizado por Ruiz (2003), que avaliou a degradação de filmes de vernizes curados por radiação ultravioleta.

O resultado da Termogravimetria feita para a borra de destilação resultante da destilação da amostra 1 (verniz + solvente) é mostrada na Figura 2B.

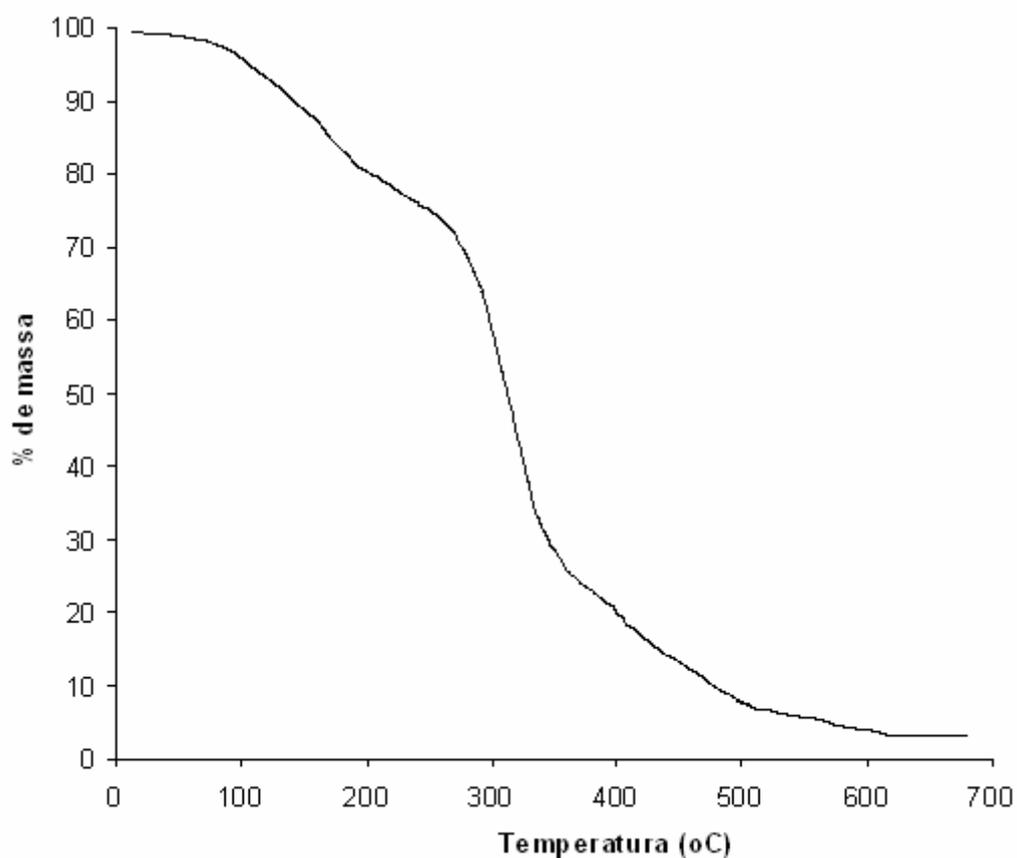


Figura 2B: Termogravimetria em ar da borra obtida pela destilação da amostra 1- verniz + solvente.

A borra obtida pela destilação da amostra 1 verniz + solvente apresenta melhora em sua estabilidade térmica em relação ao resíduo sem tratamento mostrado na Figura A2. Sua decomposição térmica é semelhante à do resíduo, sem, entretanto apresentar perda de massa acentuada até 100°C. Seu armazenamento não oferece risco imediato de explosão.

A DSC da borra obtida pela destilação da amostra 1(verniz + solvente) é apresentada na Figura 3B.

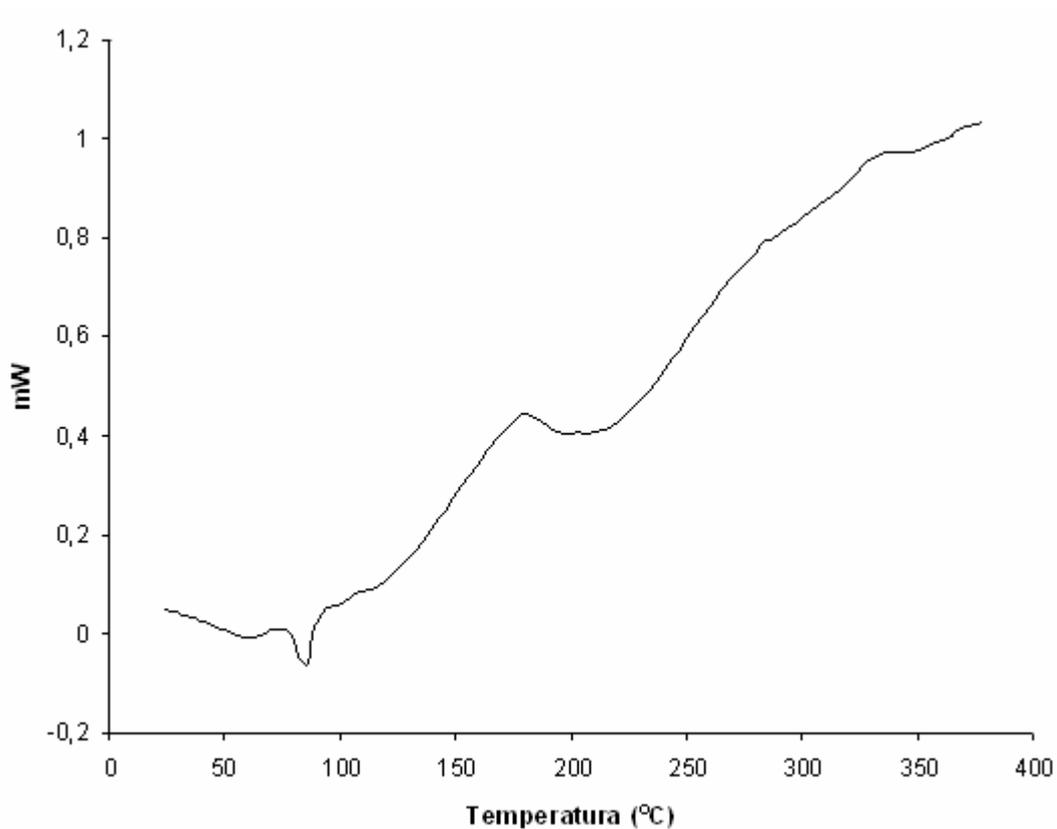


Figura 3B: DSC em nitrogênio da borra obtida pela destilação da amostra 1 verniz + solvente

A DSC mostra um evento endotérmico ocorrendo próximo da temperatura de 100°C. Este evento é associado à volatilização de solvente residual presente na amostra, corroborando com o resultado fornecido pela curva termogravimétrica. O evento exotérmico que ocorre entre 150 e 200°C é associado à autopolimerização de uma fração do monômero. Este resultado está de acordo com Ruiz(2003).

No caso da mostra sem qualquer tratamento, a volatilização de solvente até a temperatura de 100°C demonstra a instabilidade térmica da amostra, se refletindo na gestão do resíduo dentro da Empresa. Com essa instabilidade, não seria recomendável o armazenamento prolongado do resíduo, já que oferece risco de explosão.

O resultado da Termogravimetria realizada para a amostra 3- mistura de resíduos sem qualquer tratamento é apresentado na Figura 4B.

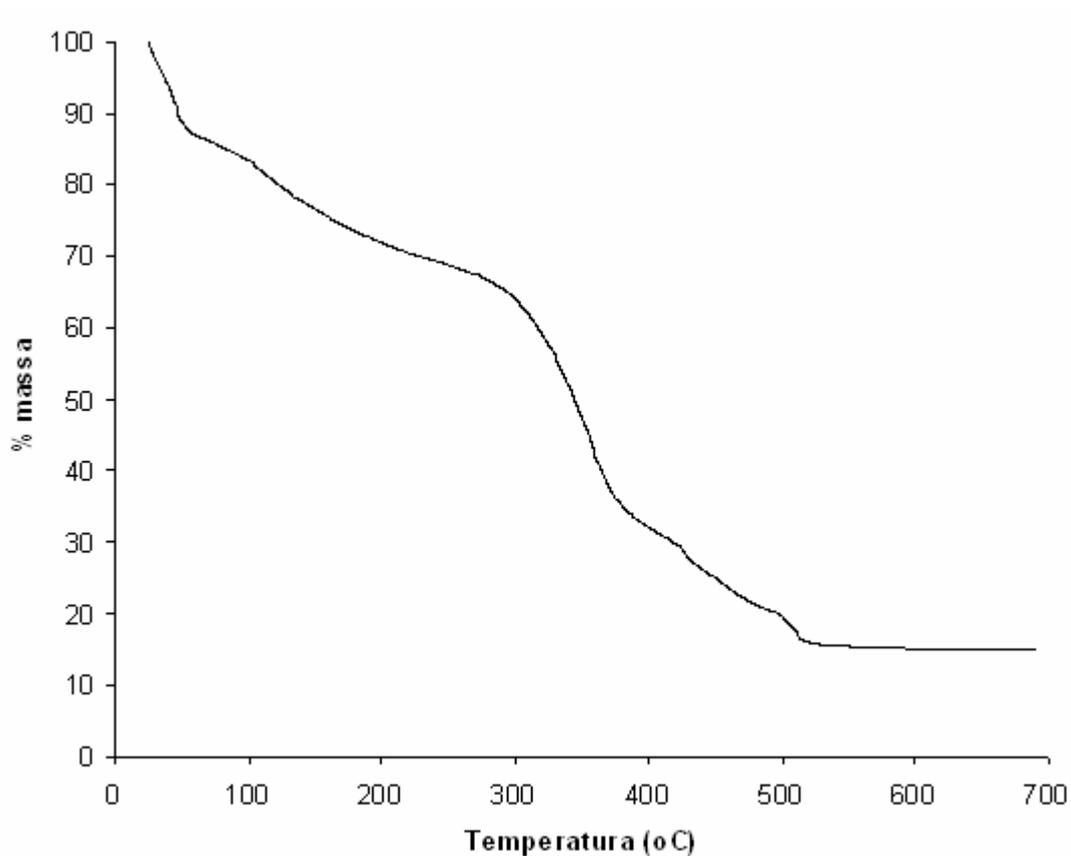


Figura 4B: Termogravimetria em ar da amostra 3- mistura de resíduos sem qualquer tratamento.

A mistura de resíduos apresenta baixa estabilidade térmica. Ocorre perda de massa mais rápida em temperatura inferior a 100°C. Tal perda é associada à volatilização da fração solvente. Entre 200 e 300 °C ocorre a decomposição da resina componente do verniz e autopolimerização do monômero. Após 400 °C ocorre a decomposição térmica do produto de polimerização do monômero.

A Termogravimetria da borra resultante da destilação da amostra 3- mistura de resíduos é mostrada na Figura 5B. Seu perfil se assemelha ao perfil do resíduo sem qualquer tratamento. Entretanto, uma vez que a amostra é filtrada antes da destilação, a fração insolúvel (rica em cargas inorgânicas) fica retida, diminuindo o residual da decomposição térmica. Seu armazenamento não oferece risco imediato de explosão quando armazenado. Entretanto, um armazenamento prolongado pode inviabilizar a reutilização desta borra como matéria prima para produção de uma nova tinta, já que esse material sofre reações de polimerização.

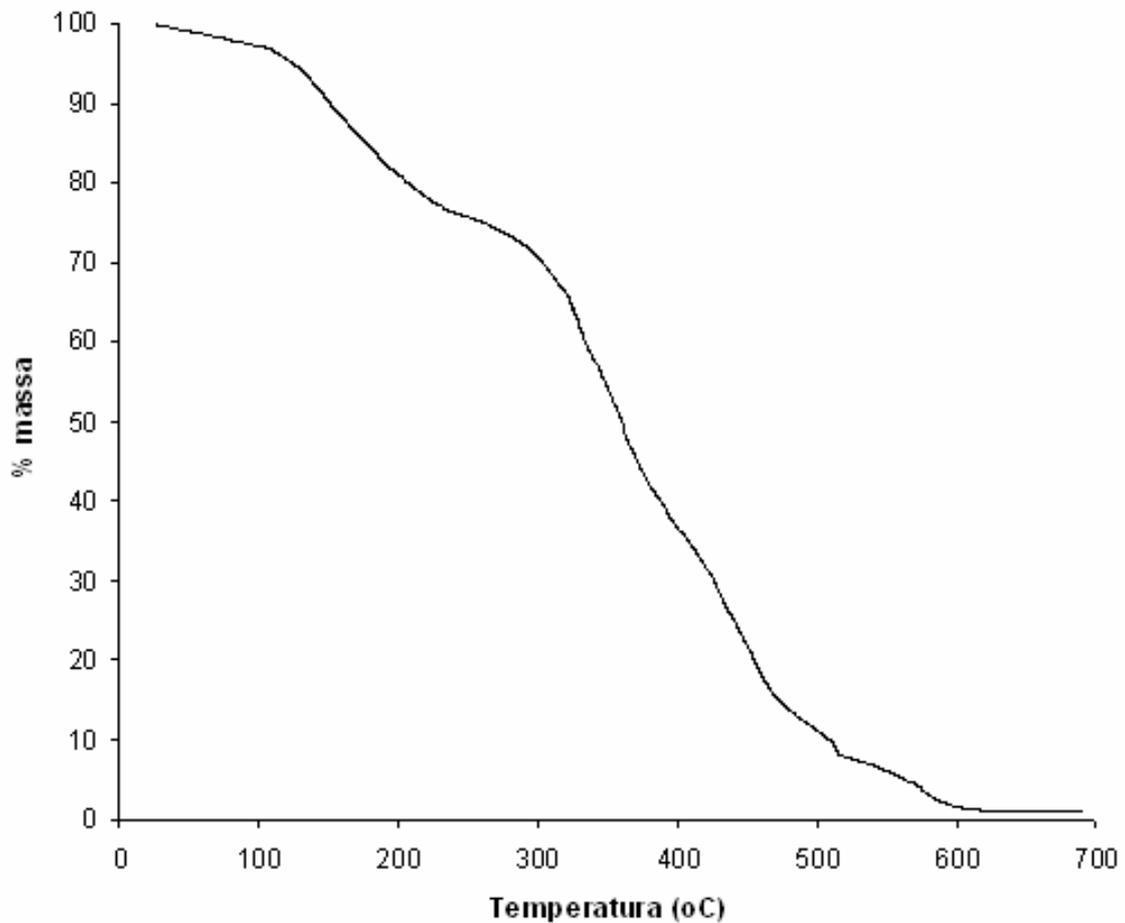


Figura 5B: Termogravimetria em ar da borra resultante da destilação da amostra 3- mistura de resíduos.

O resultado da DSC realizada para a borra resultante da destilação da amostra 3- mistura de resíduos é mostrada na Figura 6B. Neste caso já não se observa o pico exotérmico referente à volatilização dos solventes. Este resultado corrobora a curva termogravimétrica no que se refere a estabilidade da borra. Um evento endotérmico próximo a 200°C confirma a teoria de autopolimerização do monômero. O armazenamento da borra resultante da destilação embora não ofereça risco imediato de explosão pode assim, comprometer o uso desta borra na fabricação de uma nova tinta.

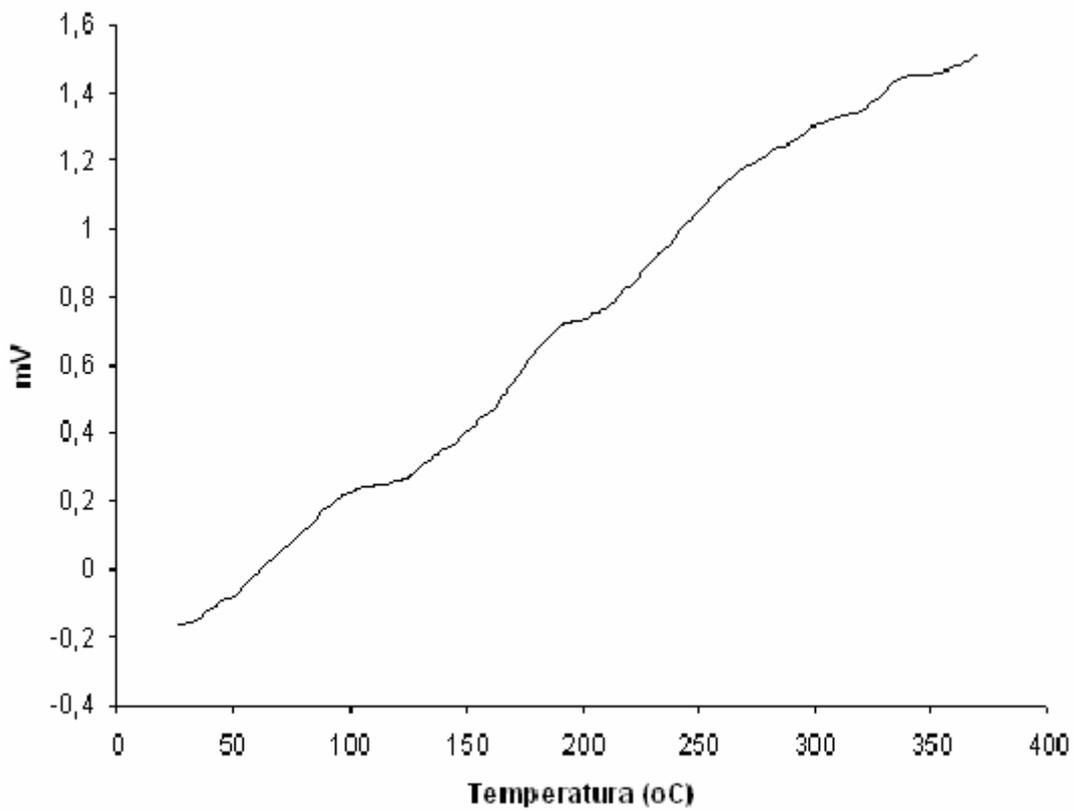


Figura 6B: DSC em nitrogênio da borra resultante da destilação da amostra 3- mistura de resíduos.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)