

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais
PPGE3M

**A INFLUÊNCIA DA DENSIDADE DO FILTRO DE CIGARROS NOS TEORES DA
FUMAÇA**

Dissertação de Mestrado

Venise Bouvier Alves

Porto Alegre, 2016

VENISE BOUVIER ALVES

**A INFLUÊNCIA DA DENSIDADE DO FILTRO DE CIGARRO NOS TEORES DA
FUMAÇA**

Dissertação realizada no Departamento de Materiais da Escola de Engenharia da UFRGS, dentro do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGE3M, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia.

Área de Concentração: Ciência e Tecnologia dos Materiais

Orientador: Professor Dr. Álvaro Meneguzzi

Porto Alegre, 2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Carlos Alexandre Netto

Vice-Reitor: Rui Vicente Oppermann

ESCOLA DE ENGENHARIA

Diretor: Luiz Carlos Pinto da Silva Filho

Vice-Diretor: Carla Schwengber ten Caten

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

Coordenador: Carlos Pérez Bergmann

Vice-Coordenador: Afonso Reguly

Alves, Venise Bouvier
A INFLUÊNCIA DA DENSIDADE DO FILTRO DE CIGARRO
NOS TEORES DA FUMAÇA / Venise Bouvier Alves. -- 2016.
80 f.

Orientador: Álvaro Meneguzzi.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de
Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de
Materiais, Porto Alegre, BR-RS, 2016.

1. Filtro de cigarros. 2. Acetato de Celulose. 3.
Denier por filamento. I. Meneguzzi, Álvaro, orient. II.
Título.

VENISE BOUVIER ALVES

A INFLUÊNCIA DA DENSIDADE DO FILTRO DE CIGARROS NOS TEORES DA FUMAÇA

Esta Dissertação foi analisada e julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia e aprovado e sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. Álvaro Meneguzzi

Aprovado em: ____ / ____ / ____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Hugo Marcelo Veit – UFRGS _____

Profª Dra. Ângela Cristina Kasper – UFRGS _____

Profª Dra. Rejane Maria Tubino – UFRGS _____

RESUMO

Em meio ao declínio do consumo de cigarros devido ao aumento das campanhas restritivas e a crescente consciência pública dos riscos associados à saúde dos fumantes, as indústrias de cigarros se deparam com o constante desafio de desenvolver novas tecnologias de fabricação e materiais que minimizem os efeitos da fumaça de cigarros sobre a saúde dos consumidores. O sabor e a composição da fumaça ingerida pelo fumante durante o ato de fumar dependem fundamentalmente da combinação do *design* do cigarro e do *blend* de fumo utilizado. O interesse na realização desta pesquisa foi avaliar a influência da densidade do filtro de cigarros na redução dos teores dos principais constituintes da fumaça. Para a realização do estudo, protótipos de cigarro foram fabricados em escala industrial, utilizando o mesmo *blend* de fumo e demais parâmetros de *design* do cigarro, apenas variando a especificação do *denier* do acetato de celulose utilizado na fabricação do filtro. O desempenho dos filtros como material filtrante da fumaça foi avaliado em termos da queda de pressão e das propriedades da fibra do cabo de acetato. E, utilizando métodos padronizados, os protótipos de cigarro foram fumados em máquina de fumar e a composição dos teores de alcatrão, nicotina e monóxido de carbono foi determinada para a avaliação da capacidade de retenção dos filtros de cigarro fabricados com diferentes densidades. Os resultados mostram que a utilização de cabos de acetato com menor *denier* por filamento nos filtros de cigarro apresenta grande desempenho na redução dos constituintes da fase particulada da fumaça, como o alcatrão e a nicotina, porém não apresenta efeito na redução do monóxido de carbono, substância volátil presente na fase vapor da fumaça. No entanto, cabos de acetato com menor espessura dos filamentos somente podem ser utilizados em filtros de cigarro se combinados com outros parâmetros de *design* de cigarro a fim de não apresentar prejuízo na aceitação do produto junto aos consumidores, devido ao aumento no esforço para a realização da tragada.

Palavras-chave: *Design* de cigarro. Filtros de cigarro. Cabo de acetato de celulose. *Denier* por filamento.

ABSTRACT

In the middle of the cigarette consumption decline caused by the increase of restrictive advertising campaigns and smokers' health risk public awareness, tobacco industries now encounter the permanent challenge of developing materials and new manufacturing technologies to minimize cigarette smoke effects in regards to consumers' health. The taste and formulation of the smoke absorbed in the smoking activity crucially depend on the combination between cigarette design and tobacco blend. The aim in this research was to evaluate the influence of cigarette filter density to reduce the level of smoke main constituents. In order to conduct the study, cigarette prototypes were manufactured at industrial proportion, using the same tobacco blend and respective cigarette design parameters, but only varying the denier specification of the cellulose acetate filter tow used to produce the filter. The performance of filters as smoke-filtering materials were evaluated in terms of pressure drop and filter tow fiber properties. And, according standardized methods, cigarette prototypes were smoked in smoking machines, and the composition of tar, nicotine and carbon monoxide levels was determined to evaluate the retention capacity of the cigarette filters manufactured with different densities. Results show that the use of filter tows with low denier per filament in cigarette filters increases smoke particulate phase components removal efficiency, such as tar and nicotine, but it does not present effects to reduce carbon monoxide, volatile substance that exists in the smoke vapor phase. However, filter tows with of filaments can only be used in cigarette filters if combined with other design parameters in order to avoid damage in the product acceptance by consumers due to the increase of effort in the cigarette puff.

Keywords: Cigarette design. Cigarette filters. Filter tows. *Denier* per filament.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – À esquerda, plantação de fumo e estufas para crescimento das mudas, e à direita, o fumo após o processo de cura	18
Figura 2 – Esquema representativo dos principais componentes de construção do cigarro	18
Figura 3 – Ponteiras perfuradas em três níveis de ventilação: 0%, 35% e 70%	20
Figura 4 – Representação da formação da fumaça principal e lateral dos cigarros ..	22
Figura 5 – Suporte da máquina de fumar contendo o filtro Cambridge para a coleta do material particulado da fumaça de cigarros, simulando o ato de fumar	22
Figura 6 – Filtro Cambridge, antes e depois da coleta do material particulado da fumaça de cigarros, durante o ensaio em máquina de fumar	23
Figura 7 – Média dos teores de alcatrão e nicotina dos cigarros comercializados nos EUA, no período de 1950 a meados dos anos 2000	25
Figura 8 – Configurações de filtro de cigarro: somente de acetato de celulose e combinado com carvão ativado	27
Figura 9 – Filamento do acetato de celulose, com formato em Y, visto em um microscópio eletrônico de varredura	28
Figura 10 – Eficiência de Filtração versus Queda de Pressão para um filtro de acetato de celulose, com comprimentos de 15 e 25 mm	29
Figura 11 – Curva de capacidade de diferentes títulos de cabo de acetato	30
Figura 12 – Efeito da ventilação no filtro sobre a redução dos teores da fumaça	32
Figura 13 – A estrutura da banda de monofilamentos do cabo de acetato	36
Figura 14 – (a) Detalhe do estiramento do cabo de acetato de celulose através dos rolos e (b) Funil de formação da barra de filtro	37
Figura 15 – Esquema ilustrativo da medição da queda de pressão no filtro	38
Figura 16 – Máquina de fumar modelo SM 450, utilizada para a coleta da fase particulada e fase vapor da fumaça principal de cigarros	39
Figura 17 – Preparo dos filtros de cigarro para o ensaio de queda de pressão	42
Figura 18 – Suporte contendo o filtro Cambridge durante o ensaio de fumada de cigarros em máquina de fumar	45
Figura 19 – (a) Micrografia da banda de acetato de celulose, com detalhe (b) no formato em Y da seção transversal de um filamento	52

Figura 20 – Micrografias dos cabos de acetato de celulose, nas especificações de <i>denier</i> : (a) 3.0Y30000, (b) 2.5Y32000 e (c) 2.1Y31000.....	53
Figura 21 – Resultados do ensaio de queda de pressão no filtro dos protótipos fabricados com diferentes <i>denier</i> do cabo de acetato	54
Figura 22 – A relação entre a queda de pressão e a eficiência de filtração nos filtros dos protótipos fabricados com diferentes <i>denier</i> do cabo de acetato.....	56
Figura 23 – Resultados dos ensaios de eficiência de filtração e determinação do teor de nicotina na fumaça dos protótipos de cigarro elaborados	59
Figura 24 – Resultados do ensaio de determinação do teor de alcatrão e nicotina na fumaça dos protótipos de cigarro fabricados com diferentes <i>denier</i> do acetato de celulose	60
Figura 25 – Resultados do ensaio de determinação do teor de CO na fumaça dos protótipos de cigarro fabricados	61
Figura 26 – Comparação dos resultados de queda de pressão no filtro obtidos no experimento e os valores informados na simulação com o <i>software</i>	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Alguns dos compostos carcinogênicos presentes na fumaça dos cigarros	21
Tabela 2 – Preparo dos pontos da curva de calibração de água	47
Tabela 3 – Preparo dos pontos da curva de calibração de nicotina	47
Tabela 4 – Condições cromatográficas da análise de água e nicotina no condensado de fumaça.....	48
Tabela 5 – Relação entre o número de filamentos em cada título de cabo de acetato e o efeito na queda de pressão no filtro	55
Tabela 6 – Resultados dos ensaios de determinação dos teores de alcatrão, nicotina e CO na fumaça de cigarros e da eficiência de filtração dos protótipos de cigarro fabricados.....	57
Tabela 7 – Relação entre o dpf e a eficiência de filtração em um filtro de acetato de celulose, com 20 mm de comprimento de plug	58

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	11
1 OBJETIVOS	14
1.1 OBJETIVO GERAL	14
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 A CULTURA E O CENÁRIO DO FUMO NO BRASIL	15
2.2 O CIGARRO E SEUS CONSTITUINTES	17
2.2.1 Principal componente: o fumo	17
2.2.2 Design do cigarro	18
2.2.2.1 Barra de Fumo	19
2.2.2.2 Papel de cigarro	19
2.2.2.3 Filtro	19
2.2.2.4 Papel ponteira	19
2.3 A FUMAÇA DE CIGARROS	20
2.3.1 A composição da fumaça dos cigarros	21
2.4 O <i>DESIGN</i> DO CIGARRO NA REDUÇÃO DOS TEORES	24
2.5 FILTRO DE CIGARROS	26
2.5.1 Propriedades dos filtros de acetato de celulose	27
2.6 A REDUÇÃO DOS CONSTITUINTES DA FUMAÇA ATRAVÉS DO FILTRO DE CIGARROS	31
3 MATERIAIS E MÉTODOS	35
3.1 MATERIAIS	35
3.2 MÉTODOS	35
3.2.1 Fabricação dos protótipos de cigarro	35
3.2.2 Avaliação das propriedades físicas do filtro e do cabo de acetato	37
3.2.2.1 Queda de pressão no filtro	37
3.2.2.2 Propriedades físicas do cabo de acetato	38
3.2.3 Determinação da composição dos constituintes da fumaça de cigarros e da eficiência de filtração dos filtros para o teor de nicotina	39

3.2.3.1 Análise da fumada de cigarros	39
3.2.3.2 Determinação dos teores de alcatrão, nicotina e monóxido de carbono na fumaça de cigarros e da eficiência de filtração.....	40
4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	41
4.1 FABRICAÇÃO DOS PROTÓTIPOS DE CIGARRO	41
4.2 AMOSTRAGEM E CONDICIONAMENTO	42
4.3 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO FILTRO	43
4.3.1 Determinação da queda de pressão no filtro de cigarros.....	42
4.3.2 Caracterização das fibras do cabo de acetato.....	43
4.4 DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO DOS CONSTITUINTES DA FUMAÇA PRINCIPAL DE CIGARROS E DA EFICIÊNCIA DE FILTRAÇÃO DO FILTRO	43
4.4.1 Análise de fumada dos cigarros	44
4.4.1.1 Determinação do TSR na fumaça dos cigarros.....	45
4.4.1.2 Determinação do teor de CO na fumaça dos cigarros.....	46
4.4.2 Determinação dos teores de água, nicotina e alcatrão na fumaça principal de cigarros	46
4.4.2.1 Preparo de soluções.....	46
4.4.2.2 Análise de água e nicotina no condensado da fumaça	48
4.4.3 Determinação da eficiência de filtração para o teor de nicotina na fumaça de cigarros	50
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	52
5.1 CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES DO ACETATO DE CELULOSE E DO FILTRO DE CIGARROS COMO MATERIAL FILTRANTE.....	52
5.2 A COMPOSIÇÃO DOS TEORES DE ALCATRÃO, NICOTINA E CO NA FUMAÇA PRINCIPAL DE CIGARROS	57
5.3 VALIDAÇÃO DO SOFTWARE DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO.....	63
CONCLUSÃO	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67

ANEXO A – Principais constituintes da fase vapor da fumaça principal de cigarros.....	72
ANEXO B – Principais constituintes da fase particulada da fumaça principal de cigarros.....	73
ANEXO C – Resultados individuais: Ensaio de queda de pressão no filtro de cigarros (em mmH₂O).....	74
ANEXO D – Resultados: Composição dos teores de alcatrão, nicotina e monóxido de carbono na fumaça de cigarros.....	75
ANEXO E – Resultados: Eficiência de filtração do filtro de cigarros para o teor de nicotina na fumaça.....	77

INTRODUÇÃO

Atualmente o tabaco representa a mais importante cultura agrícola não alimentícia do planeta, e contribui significativamente para a economia de mais de 150 países. Os recursos e impostos obtidos da indústria do tabaco constituem uma das maiores fontes de renda para quase todos os países do mundo, e milhares de pessoas mundialmente trabalham na cadeia produtiva do tabaco. No Brasil, a importância socioeconômica do cultivo e manufatura do tabaco é indiscutível. O Brasil ocupa a posição de segundo maior produtor de tabaco, perdendo apenas para a China, chegando a cultivar mais de 600 mil toneladas de fumo por ano, segundo dados de 2015. Deste total, o País exportou mais de 360 mil toneladas no mesmo ano, tornando-se o maior exportador de fumo do mundo, reconhecido desde 1993 (SINDITABACO, 2016; SOUZACRUZ, 2016a).

Apesar da importância do tabaco para a economia do País, o cigarro é insistentemente combatido pelas organizações de saúde devido ao efeito maléfico causado para a saúde de seus consumidores. A fumaça de cigarros contém aproximadamente 4.700 substâncias químicas, entre as quais, 100 compostos são tóxicos e mais de 69 destes já foram identificados como cancerígenos (GUERIN, 1980; HOFFMANN e WYNDER, 1986). Conforme informações divulgadas pela Organização Mundial da Saúde (OMS), todos os anos mais de cinco milhões de pessoas morrem em decorrência de doenças associadas ao tabagismo (TOBACCO ATLAS, 2016; INCA, 2016).

Proibições de exposição e divulgação, imagens de advertências impressas na embalagem evidenciando seus malefícios e a alta incidência de impostos são algumas das ações promovidas pelo governo federal para a redução do consumo de cigarro, a fim de reduzir as consequências para a saúde dos fumantes. Segundo dados do Instituto Nacional do Câncer (INCA, 2016), os números demonstram uma queda de 30,7% no percentual de fumantes nos últimos nove anos.

Nesse cenário, em que o cigarro e outros derivados do tabaco são produtos de enorme importância para a economia, mas que o consumo está em declínio, a indústria de cigarro se depara com o constante desafio de desenvolver novas tecnologias de fabricação e materiais alternativos que minimizem os efeitos da fumaça de cigarros sobre a saúde do consumidor.

A composição dos cigarros e, conseqüentemente da fumaça, mudaram gradualmente desde a publicação dos estudos que evidenciaram a relação entre o número de cigarros fumados e o desenvolvimento de câncer de pulmão. A principal mudança foi a redução dos teores de alcatrão e nicotina contidos na fumaça do cigarro. Este efeito foi principalmente alcançado pela utilização de filtros nos cigarros, pela adoção de linhas de perfuração no filtro (ventilação) e de papéis de cigarro com alta permeabilidade (HOFFMANN e HOFFMANN, 1997).

Desde então, diversas pesquisas foram realizadas a fim de investigar como a alteração nos parâmetros de construção do cigarro (conhecido como *design* do cigarro) influencia na composição da fumaça do cigarro. A maior parte da literatura disponível assume que a ventilação no filtro é o principal recurso utilizado pelas indústrias de cigarro para a redução de teores. Mas também é citado que todos os parâmetros do *design* do cigarro podem ser modificados para o alcance dos teores requeridos (STEPHENS, 2006). Porém, há pouca informação disponível sobre a forma como cada elemento contribui na composição da fumaça do cigarro, pois são mantidas como um segredo industrial, devido às restrições sobre o tema.

Os pesquisadores e desenvolvedores de produtos nas indústrias de cigarro utilizam um software que simula os teores finais na fumaça do cigarro através da modelagem dos parâmetros de construção do cigarro. Com a utilização deste software, a combinação de dois ou mais parâmetros são modelados e aplicados diretamente em protótipos de cigarro para a validação dos teores. Uma vez conhecida essa relação entre o *design* do cigarro e a composição da fumaça, não há publicações e informações de como esses fatores influenciam nos teores da fumaça.

Porém, é compulsória a busca por informações em resposta à crescente consciência pública dos riscos associados ao consumo dos cigarros para a saúde dos fumantes. Tanto que em 2010, na assembleia da Convenção Quadro para o Controle do Tabaco (*Framework Convention on Tobacco Control - FCTC*), a Organização Mundial da Saúde recorreu à comunidade científica para focar sua atenção em investigar a relação entre os elementos do *design* do cigarro sobre a composição da fumaça (FCTC/COP4(10), 2010).

Devido à relevância do tema e frente a poucas publicações disponíveis, o interesse na realização desta pesquisa é avaliar o efeito da variação da densidade do filtro de cigarros nos teores dos principais constituintes da fumaça. Para o desenvolvimento desta pesquisa foram fabricados três protótipos de cigarro com o

mesmo *blend* de fumo e demais parâmetros de construção do cigarro, apenas variando a densidade do filtro, em termos das propriedades do *denier* das fibras do acetato de celulose, material utilizado na fabricação do filtro de cigarros.

1 OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GERAL:

Avaliar o desempenho dos filtros de cigarro com diferentes densidades na retenção dos principais constituintes da fumaça.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Investigar a influência das propriedades do *denier* das fibras do acetato de celulose na capacidade de retenção do filtro de cigarros;
- Determinar a composição dos teores de alcatrão, nicotina e monóxido de carbono da fumaça dos cigarros com diferentes densidades de filtro;
- Comparar os resultados obtidos no experimento com os teores informados na simulação com o software de desenvolvimento de produto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão apresentados os conceitos teóricos relevantes para a contextualização e justificativa desta pesquisa.

2.1 A CULTURA E O CENÁRIO DO FUMO NO BRASIL

A indústria do tabaco contribui significativamente para a economia de mais de 150 países, e milhares de pessoas mundialmente trabalham na cadeia produtiva do tabaco. Mesmo em países que não possuem o cultivo ou manufatura do tabaco, o varejo e a distribuição constituem uma importante fonte de atividade econômica. Atualmente, poucos ramos da indústria são tão abrangentes como o fumageiro e, para muitos países, o tabaco representa uma parte importante do contexto econômico e social (SOUZACRUZ, 2016a).

A importância socioeconômica do tabaco para o Brasil é indiscutível. Segundo dados da AFUBRA (Associação dos Fumicultores do Brasil), na safra de 2014/2015 a produção de fumo ultrapassou 692 mil toneladas, somando uma receita bruta de aproximadamente 5 bilhões de reais, gerando mais de 40 mil empregos diretos nas empresas do setor instaladas no País. Com esta produção o Brasil se mantém em destaque no cenário mundial, ocupando a posição de segundo maior produtor de tabaco no mundo (perdendo apenas para a China) e, desde 2003, de maior exportador de tabaco do mundo (SINDITABACO, 2016).

No entanto, mesmo com tamanha importância do tabaco para a economia do país, o cigarro é insistentemente combatido pelas organizações de saúde devido ao efeito maléfico causado para a saúde de seus consumidores. Doenças atribuídas ao consumo de cigarros continuam a ser a principal causa de morte evitável, com cerca de 430.000 mortes anuais somente nos EUA. Segundo informações divulgadas pela Organização Mundial da Saúde (OMS), anualmente mais de cinco milhões de pessoas em todo o mundo morrem em decorrência de doenças associadas ao tabagismo (TOBACCO ATLAS, 2016; INCA, 2016).

A fumaça de cigarros contém aproximadamente 4.700 substâncias químicas, entre as quais, 100 compostos são tóxicos e mais de 69 destes já foram identificados como cancerígenos. As substâncias mais comumente conhecidas são

o alcatrão, a nicotina e o monóxido de carbono, sendo que todas estão associadas a efeitos adversos para a saúde dos fumantes. Por exemplo, a nicotina é o constituinte do fumo associado à dependência. A exposição ao monóxido de carbono está relacionada ao nascimento de crianças com baixo peso, e atua no organismo como um fator de desenvolvimento precoce de doenças cardiovasculares. O alcatrão, por não ser uma substância única, contém a maioria dos agentes mutagênicos e carcinogênicos da fumaça de cigarros (GUERIN, 1980; HOFFMANN e WYNDER, 1986; CALAFAT *et al*, 2004).

Em 2003, a OMS aprovou um tratado mundial para a prevenção e controle do tabagismo, conhecida como Convenção-Quadro (*Framework Convention on Tobacco Control*, FCTC). Esta Convenção tem por objetivo desenvolver e implementar diversas medidas para a restrição ao consumo do cigarro. No Brasil, a Convenção-Quadro é aplicada e regulamentada pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Uma das iniciativas, com a publicação da Resolução de Diretoria Colegiada número 46, no ano de 2001, a ANVISA limitou os teores máximos permitidos de alcatrão, nicotina e monóxido de carbono na fumaça do cigarro para 10:1:10 mg/cigarro, respectivamente (ANVISA, 2014).

Proibições de exposição e divulgação, imagens de advertências impressas na embalagem evidenciando seus malefícios, a alta incidência de impostos e consequentemente de preços são algumas das outras ações promovidas pelo governo federal (através da Convenção-Quadro) para a redução do consumo de cigarro e derivados do tabaco. Segundo dados do Instituto Nacional do Câncer (INCA, 2016), os números demonstram uma queda de 30,7% no percentual de fumantes nos últimos nove anos.

Nesse cenário, em que o cigarro e outros derivados do tabaco são produtos de enorme importância para a economia, mas que o consumo está em declínio devido ao aumento das restrições, as indústrias de cigarro se deparam com o constante desafio de desenvolver novas tecnologias que minimizem os efeitos negativos sobre a saúde do consumidor, enquanto mantém os teores de alcatrão e nicotina por ele requeridos e permitidos pela legislação (SRBINOSKA e KIRKOVA, 2010).

Os recursos disponíveis e empregados pelas indústrias de cigarro para a redução e manutenção dos teores dos cigarros comercializados são o *blend* de fumo e os parâmetros físicos do cigarro. O conjunto destas características é o que define

o sabor e a composição dos teores da fumaça ingerida pelo fumante. Estes parâmetros de construção do cigarro serão apresentados no item 2.2.

2.2 O CIGARRO E SEUS CONSTITUINTES

A fim de fornecer aos consumidores diferentes produtos, os principais fabricantes de cigarro no Brasil possuem no mercado diversas marcas que abrangem diferentes teores de alcatrão, nicotina e monóxido de carbono, dentro dos limites estabelecidos pela legislação. Por isso, mesmo parecendo iguais, os cigarros apresentam diferenças de acordo com as preferências dos consumidores. Os cigarros variam em função do fumo utilizado e dos parâmetros físicos de construção do cigarro, conhecido como *design* do cigarro (KEITH, 1972; NORMAN, 1999).

O cigarro é fabricado com os seguintes ingredientes básicos: mistura de fumos, papel e filtro, que conferem ao produto final características sensoriais próprias. Estes constituintes serão brevemente discutidos a seguir.

2.2.1 Principal componente: o fumo

O principal componente do cigarro é o fumo, que é uma planta da família das solanáceas e que na sua composição contém naturalmente a nicotina. Os teores reais desse alcalóide são extremamente variáveis, pois a planta de fumo não é um produto cujos componentes químicos têm dose fixa. A quantidade de nicotina depende do tipo de fumo, da posição das folhas na planta, da época da colheita e das condições climáticas, do tipo de solo e do processo de cura (BROWNE, 1990).

Antes de ser utilizado, o fumo precisa passar pelo processo de cura (Figura 1). A cura consiste na secagem das folhas do fumo, removendo a umidade e convertendo o amido em açúcar. Nesta etapa, além da perda da água e da mudança de cor, as folhas sofrem uma série de transformações bioquímicas que definirão o sabor e o aroma específico de cada variedade de fumo. No Sul do Brasil são cultivados os tipos de fumo Virgínia e Burley. O fumo Virgínia é curado em estufas de alvenaria com a utilização de lenha como fonte de calor, já o fumo Burley é curado em galpões com as laterais parcialmente fechadas para que haja circulação do ar natural (BROWNE, 1990; SOUZA CRUZ, 2016b).

Figura 1 – À esquerda, plantação de fumo e estufas para crescimento das mudas, e à direita, o fumo após o processo de cura



Fonte: PKS (2006)

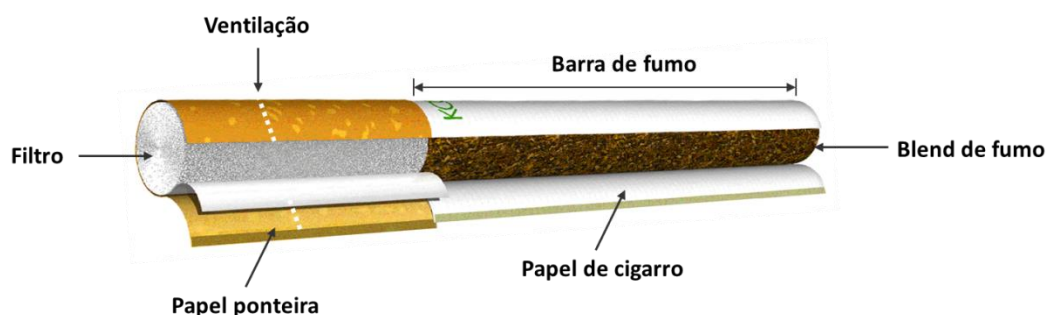
A combinação das diferentes variedades de fumo em diferentes proporções é a mistura de fumos, conhecida como *blend* de fumo. Cada marca de cigarro possui em sua composição um *blend* diferente, de acordo com os teores a serem atingidos (PKS, 2006 ; SOUZA CRUZ, 2016b).

2.2.2 Design do cigarro

As características do fumo e do cigarro são inter-relacionadas de tal forma que é impossível variar qualquer uma destas sem causar algum impacto na composição final da fumaça do cigarro.

O cigarro pode ser subdividido em quatro componentes principais: barra de fumo, papel de cigarro, filtro e ponteira, conforme mostra a Figura 2.

Figura 2 – Esquema representativo dos principais componentes de construção do cigarro



Fonte: adaptado de PKS (2006)

2.2.2.1 Barra de Fumo

A função da barra de fumo é fornecer o fumo, combustível para a queima e a formação da fumaça. É na fumaça que está contido o sabor, o aroma e a nicotina requerida pelo fumante no ato de fumar. De acordo com Browne (1990), um *blend* típico geralmente contém 60% de lâmina de fumo, e o restante é constituído basicamente de fumo reconstituído, talo (nervuras principais da folha de fumo) e aditivos (umectantes e outros).

A escolha apropriada do *blend* é a etapa mais crítica na construção do cigarro, pois é o que caracteriza o sabor e a entrega dos teores, além de ser o fator de maior custo do cigarro.

2.2.2.2 Papel de cigarro

Além da função física de envolver a barra de fumo para conferir a forma cilíndrica, o papel de cigarros possui forte influência sobre o número de tragadas e, conseqüentemente, nos teores consumidos na fumaça do cigarro. Este efeito é alcançado por variações na taxa de queima e na porosidade do papel (permitindo a passagem de ar através da barra de fumo). Assim, o papel de cigarro também atua como agente regulador da queima do cigarro (GEISS e KOTZIAS, 2007).

2.2.2.3 Filtro

O filtro de cigarro (fabricado de acetato de celulose, papel, carvão, ou uma combinação destes) possui vários propósitos. Esteticamente, o filtro melhora a aparência do cigarro e evita o contato da boca do fumante com as partículas do fumo. Funcionalmente, o filtro remove os constituintes da fase particulada da fumaça (entre eles o Alcatrão e a Nicotina) e absorve os da fase vapor, sem alterar de forma significativa o sabor e o aroma da fumaça (NORMAN, 1999; ADAM *et al*, 2010).

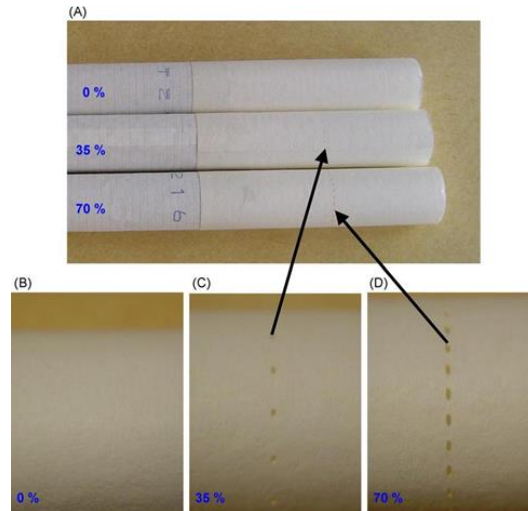
Economicamente, o filtro de acetato de celulose é mais barato do que o fumo, (considerando o mesmo volume) sendo utilizado também como um fator de redução de custos na fabricação de cigarros, em muitos países (BROWNE, 1990).

2.2.2.4 Papel ponteira

O papel ponteira é usado para unir o filtro e a barra de fumo, envolvendo completamente o filtro e sobrepondo a barra de fumo (uma fina camada de cola é utilizada para o processo de junção). O papel da ponteira pode ser perfurado ou não

(para a ventilação no filtro), conforme a Figura 3, dependendo do *design* do cigarro e dos teores requeridos (BROWNE, 1990; HOFFMANN e HOFFMANN, 1995).

Figura 3 – Ponteiros perfurados em três níveis de ventilação: 0%, 35% e 70%



Fonte: Adam *ET AL* (2010)

A ventilação do filtro é um mecanismo de introdução controlada de ar para a diluição da fumaça durante a tragada. Para isso, as perfurações são inseridas na ponteira do cigarro e desta forma menor é a proporção do volume da tragada puxado através da barra de fumo. Com a ventilação, a intensidade de combustão é reduzida, menos fumo é queimado durante a tragada e os níveis dos componentes da fumaça são reduzidos, devido à diluição da fumaça aspirada pelo fumante com a entrada de ar pela perfuração (ADAM *et al*, 2010).

Assim, as características sensoriais (como o sabor e o aroma) percebidas pelos fumantes no ato de fumar dependem fundamentalmente da combinação do *design* do cigarro e do *blend* de fumo utilizado. Estes parâmetros permitirão que o consumidor se satisfaça com o produto de acordo com os teores dos constituintes liberados na fumaça (HOFFMANN e HOFFMANN, 1997).

2.3 A FUMAÇA DE CIGARROS

A fumaça resultante da queima de cigarros contém milhares de diferentes constituintes, os mais comumente conhecidos são alcatrão, nicotina e monóxido de

carbono. Além destes, é estimado que mais de 4.700 substâncias químicas estão presentes na fumaça de cigarro, entre as quais foram identificados hidrocarbonetos poliaromáticos, fenóis, ésteres e aminas aromáticas (WYNDER e HOFFMANN, 1967; HOFFMANN e HOFFMANN, 1995).

Em 1950 foram publicados os primeiros estudos evidenciando que os constituintes da fumaça de cigarros são causas prováveis de doenças como câncer de pulmão, enfisema e doenças cardíacas. Nas décadas seguintes estas observações foram confirmadas pelo desenvolvimento de métodos analíticos que permitiram a Hoffmann e Wynder em 1986 a publicação da Lista contendo os 69 compostos com efeito carcinogênico da fumaça de cigarros. A Tabela 1 apresenta uma seleção destes compostos:

Tabela 1 – Alguns dos compostos carcinogênicos presentes na fumaça dos cigarros

Composto	Grupo	Composto	Grupo
Benzo [α]pireno	1	1,3 Butadieno	2B
4-Aminobifenil	1	Acetaldeído	2B
2-Naftilamina	1	Isopreno	2B
Formaldeído	1	Estireno	2B
Benzeno	1	Catecol	2B
Óxido de etileno	1	Níquel	2B
Cádmio	1	Cobalto	2B
N-nitrosornicotina	1	Chumbo	2B

Grupo 1 : Carcinogênicos para o Homem

Grupo 2A : Provavelmente carcinogênicos para o Homem

Grupo 2B : Possivelmente carcinogênicos para o Homem

Fonte: Adaptado de GEISS e KOTZIAS (2007)

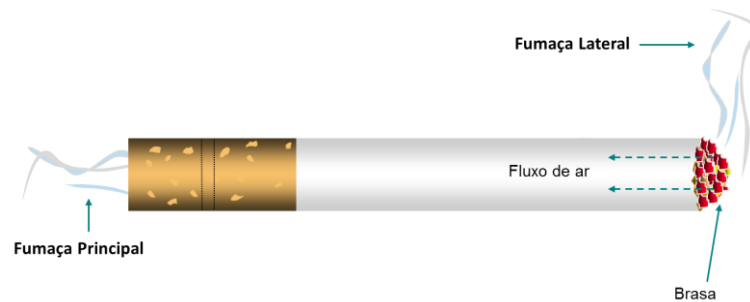
Muitos destes compostos identificados como carcinogênicos não estão presentes na folha do fumo, mas são formados durante a queima devido à alta temperatura na zona de combustão, que pode chegar a 900 °C (GEISS e KOTZ, 2007; BATTISTA, 1976).

2.3.1 A composição da fumaça dos cigarros

A fumaça dos cigarros é uma mistura heterogênea de gases, vapores e partículas líquidas, que são formadas durante o processo de queima do fumo e aspiração da fumaça pelo fumante. Durante a aspiração (tragada) o ar é puxado ao

longo do cigarro através da brasa, gerando um vapor muito concentrado, formando a fumaça que é inalada pelo fumante, denominada fumaça principal (Figura 4). No intervalo entre as tragadas, o ar se move em volta da brasa na outra extremidade do cigarro, no processo de queima estática do cigarro, resultando na fumaça lateral, geralmente exposta ao fumante passivo (GUERIN, 1980; BROWNE, 1990).

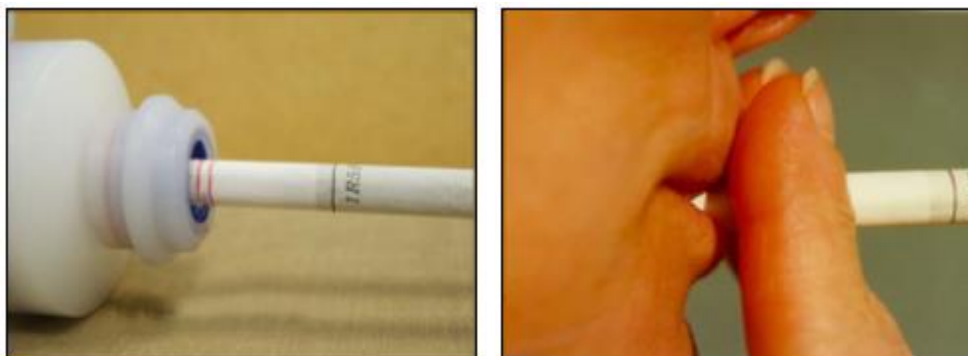
Figura 4 – Representação da formação da fumaça principal e lateral dos cigarros



Fonte: Adaptado de PKS (2006)

Fisicamente, através de métodos padronizados para a quantificação dos compostos, a fumaça dos cigarros é separada em fase particulada e fase vapor (ou fase gasosa) por meio do Filtro *Cambridge*, que é um filtro formado por fibras de vidro projetado para coletar as partículas da fumaça (GUERIN, 1980; GEISS e KOTZIAS, 2007). Esta análise da composição da fumaça é realizada em máquinas de fumar, na qual um grande número de cigarros é aspirado simultaneamente, simulando o hábito dos fumantes (SOUZA CRUZ, 2016b). A Figura 5 ilustra uma simulação do método de coleta do material particulado para a análise da composição da fumaça através do filtro *Cambridge*.

Figura 5 – Suporte da máquina de fumar contendo o filtro *Cambridge* para a coleta do material particulado da fumaça de cigarros, simulando o ato de fumar



Fonte: GEISS e KOTZIAS (2007)

A fase particulada é definida como a porção da fumaça que fica retida no Filtro *Cambridge* (Figura 6), constituída por gotículas de material condensado que varia de tamanho de 0,2 a 0,4 microns. E a porção que passa através do Filtro *Cambridge* é chamada de fase vapor, constituída por compostos mais voláteis e de diâmetro inferior a 0,1 microns (JOHN *et al*, 2006; BROWNE, 1990).

Figura 6 – Filtro *Cambridge*, antes e depois da coleta do material particulado da fumaça de cigarros, durante o ensaio em máquina de fumar



Fonte: John *et al* (2006)

A fase vapor representa cerca de 60% do total da fumaça do cigarro, e é composta por gases da combustão de produtos do fumo que não podem ser filtrados pelos meios habituais, mas podem ser absorvidos pela ativação de sólidos com grande superfície ativada como o carvão e a sílica gel. Nitrogênio, oxigênio, dióxido de carbono e monóxido de carbono constituem a maior parte dos componentes da fase vapor (HOFFMANN e HOFFMANN, 1997). Os 40% restantes são compostos por mais de 3500 componentes da fase particulada, entre os quais estão o alcatrão, a nicotina e outros alcalóides, pirenos e fenóis. Nos Anexos A e B se encontram, respectivamente, os principais constituintes identificados na fase vapor e particulada da fumaça de cigarros.

A quantidade de matéria particulada que fica retida no Filtro *Cambridge*, menos a água e nicotina é o que comumente chamamos de alcatrão (*SURLAN*, Substâncias Retidas Livres de Água e Nicotina). Por essa definição, o alcatrão não é uma substância única, mas sim uma mistura altamente complexa constituída por centenas de compostos químicos diferentes (contendo a maioria dos agentes carcinogênicos da fumaça) que se formam durante a queima, devido a combustão incompleta dos materiais orgânicos presentes no fumo (GEISS e KOTZIAS, 2007; BATTISTA, 1976).

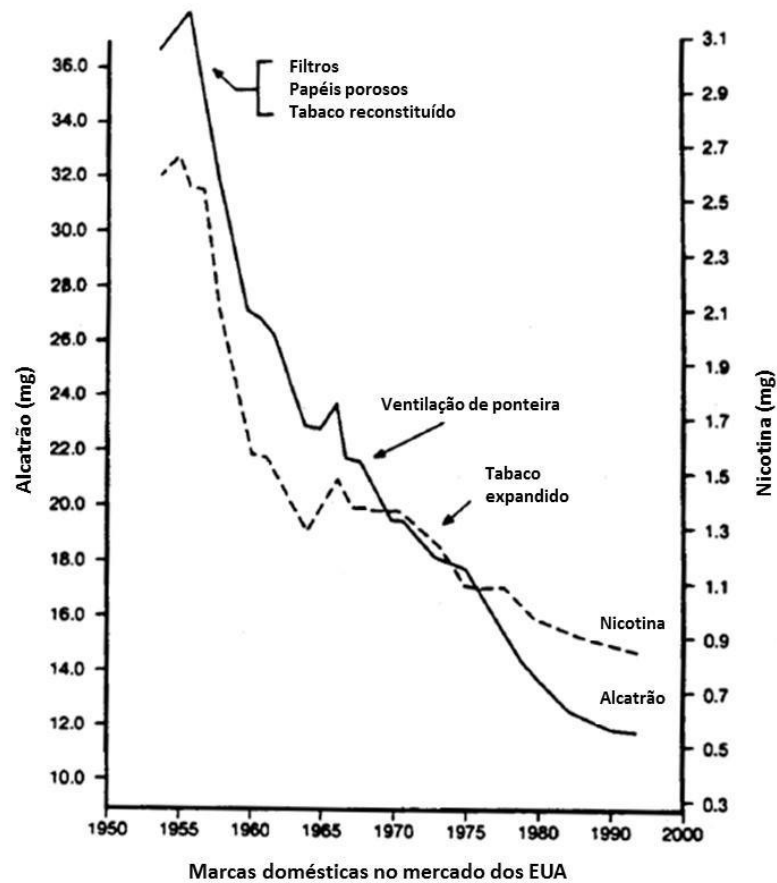
Por não ser uma substância única, o alcatrão não possui uma composição química fixa, pois varia de acordo com a composição do fumo escolhido. Por exemplo, alterando o *blend* de fumo com o aumento da quantidade de fumo do tipo *Burley*, o teor de nitrato na fumaça do cigarro aumenta. Da mesma forma que, o fumo do tipo Virgínia possui níveis mais elevados de fenóis e aminas aromáticas comparado com o fumo *Burley* (HOFFMANN e HOFFMANN, 1997; CALAFAT *et al*, 2004). Portanto, as alterações no *blend* de fumo influenciam diretamente na composição química do alcatrão e nos demais teores da fumaça de cigarros.

2.4 O *DESIGN* DO CIGARRO NA REDUÇÃO DOS TEORES

Desde a publicação das listas dos compostos carcinogênicos identificados na fumaça dos cigarros e pela repercussão causada, vários países emitiram inúmeras recomendações para as indústrias de cigarro a fim de reduzir os níveis dos constituintes tóxicos presentes na fumaça. Diversos estudos foram publicados e novas tecnologias de concepção do *design* do cigarro foram desenvolvidas (KEITH, 1978; BROWNE, 1990). Como resultado, a composição da fumaça dos cigarros mudou significativamente, e o maior efeito dessa mudança foi nos teores de alcatrão e nicotina, e conseqüentemente, a redução dos componentes tóxicos presentes na fumaça dos cigarros.

De 1954 a 1993 a média de alcatrão dos cigarros comercializados nos EUA reduziu de 38 mg para 12 mg, e a nicotina foi reduzida de 2,7 mg para 0,95 mg (HOFFMANN e HOFFMANN, 1997). A Figura 7 ilustra a tendência dos teores no mercado americano no período citado. E, conforme demonstrado na Figura 7, é bastante expressiva a redução dos teores de alcatrão e nicotina ao longo do período. Esta redução nos teores foi principalmente alcançada pela inserção de filtros nos cigarros, e pela adoção de papéis ponteira com perfuração e de papéis de cigarro com alta permeabilidade, conferindo maior passagem de ar para diluição dos teores (HOFFMANN e HOFFMANN, 1997).

Figura 7 – Média dos teores de alcatrão e nicotina dos cigarros comercializados nos EUA, no período de 1950 a meados dos anos 1990



Fonte: Hoffmann e Hoffmann (1997)

A primeira grande alteração no *design* do cigarro para a redução dos teores de alcatrão e nicotina foi a introdução do uso de filtros nos cigarros, na década de 1950. Até os anos 50, apenas 0,6% dos cigarros vendidos continham alguma espécie de filtro (DOLL, 1975). Com a repercussão dos estudos epidemiológicos que evidenciaram o risco de desenvolvimento de câncer de pulmão dos fumantes estava diretamente relacionado à exposição ao alcatrão gerado pela fumaça, iniciou uma crescente demanda por cigarros contendo filtros. As pesquisas de Kiefer e Touey (1967) e Keith (1978) mostraram que os filtros reduzem até 50% os teores de alcatrão e nicotina entregues ao consumidor na fumaça de cigarros, em comparação aos cigarros sem filtro.

Em meados dos anos 60, o filtro se tornou parte integral do *design* cigarro, e desde então o consumo aumentou rapidamente. Já em 1964, conforme Taylor

(2014), mais de 50% de todos os cigarros vendidos continham filtro e atualmente, esse número passa dos 99% dos cigarros com filtro em sua extremidade.

2.5 FILTRO DE CIGARROS

No *design* de um cigarro, o filtro possui vários propósitos. Funcionalmente, o filtro é utilizado para a retenção dos constituintes da fumaça principal dos cigarros. Esteticamente melhora a aparência e a praticidade do produto, pois propicia uma extremidade firme que evita o contato entre o fumo e a boca do fumante durante o ato de fumar. E economicamente, considerando o mesmo volume, o filtro é mais barato que o fumo (dependendo da composição do *blend*), sendo também considerado um fator de redução de custos na etapa de escolha do *design* do cigarro (BROWNE, 1990).

Desde o início de sua utilização em cigarros, na década de 1950, muitos materiais foram apresentados para uso como filtros, dentre eles papéis em várias formas, algodão, fibras naturais como o linho e a seda, e fibras sintéticas, especialmente ésteres e éteres de celulose. Atualmente, o acetato de celulose é o material mais empregado na fabricação de filtros, devido às características de alta eficiência e facilidade de fabricação. Além do aspecto de higiene e limpeza que proporciona por ser um material branqueado e, principalmente por não conferir mudanças perceptíveis no sabor da fumaça ingerida (HOFFMANN e HOFFMANN, 1997; NORMAN, 1999).

Os filtros de acetato de celulose removem com grande eficiência, 40 a 50% em média, os constituintes da fase particulada da fumaça de cigarro, principalmente o alcatrão, a nicotina e finas partículas inaladas durante a combustão do fumo. Essa redução é alcançada através da filtração mecânica das partículas do aerossol, que ocorre por interceptação direta das partículas no material filtrante, impacto ou captura difusional (Kiefer e Touey, 1967). Porém, os filtros fabricados somente de acetato de celulose exercem pouca influência sobre a redução dos componentes da fase gasosa, como o monóxido de carbono e óxidos de nitrogênio, em níveis de retenção abaixo de 10%. As partículas da fase gasosa passam através do filtro, não sendo capturadas pelos meios de filtração mecânica comum. A filtração seletiva dos constituintes da fase gasosa é alcançada com a utilização de filtros combinados

(Figura 8) contendo absorventes de alta área superficial, como o carvão ativado (GEORGE e KEITH, 1969; SCHERER *et al*, 2006; TAYLOR, 2014).

Figura 8 – Configurações de filtro de cigarro: somente de acetato de celulose e combinado com carvão ativado



Fonte: PKS (2006)

2.5.1 Propriedades dos filtros de acetato de celulose

As especificações de um filtro de cigarro são determinadas pelos teores finais de alcatrão e nicotina requeridos, de acordo com o desenvolvimento de um produto. A eficiência do acetato de celulose na remoção das partículas da fumaça é influenciada fortemente pelo comprimento e circunferência do filtro, pela firmeza (ou resistência à compressão) do filtro e pelas características das fibras do acetato de celulose (BROWNE, 1990).

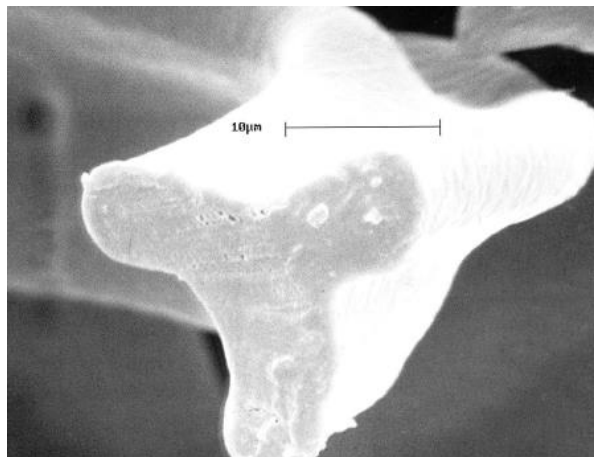
Os filtros de acetato de celulose variam de 10 a 35 mm em comprimento e apresentam circunferências de 17 a 26 mm (KIEFER e TOUEY, 1967). A firmeza do filtro é obtida através da adição de triacetato de glicerol, ou triacetina, ao acetato de celulose durante a fabricação do filtro, em média de 5 a 10%. A triacetina é um composto aglutinante que age como plastificante. O principal efeito é a solda dos filamentos do acetato, proporcionando firmeza ao filtro e aumento da capacidade de filtração, devido a algumas interrupções do caminho percorrido pela fumaça (HOFFMANN e HOFFMANN, 1997; NORMAN, 1999).

Os filtros convencionais de acetato de celulose são formados a partir de uma banda de monofilamentos contínuos, chamado “cabo de acetato”. Os filamentos têm diâmetro de aproximadamente 20 μm e uma banda pode conter de 10 a 15000 filamentos (KEITH, 1978; RUSTEMEYER, 1998). O cabo de acetato é especificado

em termos do *denier*¹, que é uma unidade de densidade linear das fibras. O *denier* é definido pela combinação das três propriedades das fibras, que são:

- **denier por filamento (dpf):** é a espessura do filamento, definido pela massa em gramas de 9000 metros de comprimento de um único filamento da fibra de acetato de celulose.
- **denier total (TD):** é a espessura da banda de filamentos do cabo de acetato, definida pela massa em gramas de 9000 metros da banda inteira (cabo de acetato).
- **Seção transversal:** é o formato da seção transversal das fibras. As fibras possuem várias formas, ditadas pela geometria do orifício a partir da qual foram extrudadas. O formato Y é o mais comum para aplicação em filtros de cigarro, devido a maior área superficial da fibra. A Figura 9 ilustra o formato em Y de um filamento de acetato de celulose.

Figura 9 – Filamento do acetato de celulose, com formato em Y, visto em um microscópio eletrônico de varredura



Fonte: RUSTEMEYER (1998)

Usualmente, o *denier* ou a densidade linear do cabo de acetato é especificado pelo “título”, que descreve as propriedades do cabo. Por exemplo, título 3.0Y35000, significa que um único filamento do cabo de acetato com comprimento de 9.000 metros tem massa de 3 gramas (3.0 = dpf), a seção transversal do filamento é em forma de Y, e todos os filamentos, ou seja, o cabo de acetato tem uma massa de

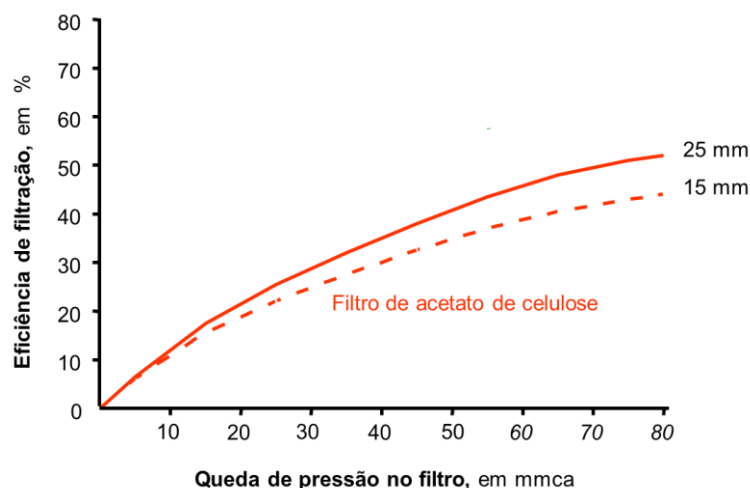
¹*denier* é um termo têxtil utilizado para a caracterização das fibras, pois por serem muito finas não é possível utilizar o diâmetro como unidade de medida.

35000 gramas para um comprimento de 9000 metros (35000 = TD). Com a descrição do “título” é possível calcular o número de filamentos em um cabo de acetato, dividindo o *denier* total pelo *denier* por filamento. No exemplo acima, o cabo de acetato possui 11.667 filamentos.

Comercialmente, para a fabricação de filtros de cigarros, estão disponíveis diversos títulos de acetato de celulose, que atendem a uma faixa de 1.6 a 8.0 dpf e 25000 a 50000 TD (RUSTEMEYER, 1998). De acordo com o título, os cabos de acetato são escolhidos para a utilização em um determinado filtro, em relação aos teores finais desejados.

A espessura e o número de filamentos que compõem um cabo de acetato influenciam nas características finais do filtro, pois interferem diretamente na área superficial das fibras disponíveis para a remoção das partículas da fumaça (BROWNE, 1990; KEITH, 1978). Em geral, o desempenho do filtro do cigarro para a remoção das partículas da fumaça é medido em termos da Eficiência de Filtração e da Queda de Pressão, de forma que estes dois parâmetros estão diretamente relacionados, como mostra a Figura 10.

Figura 10 – Eficiência de Filtração *versus* Queda de Pressão para um filtro de acetato de celulose, com comprimentos de 15 e 25 mm



Fonte: adaptado de Browne (1990)

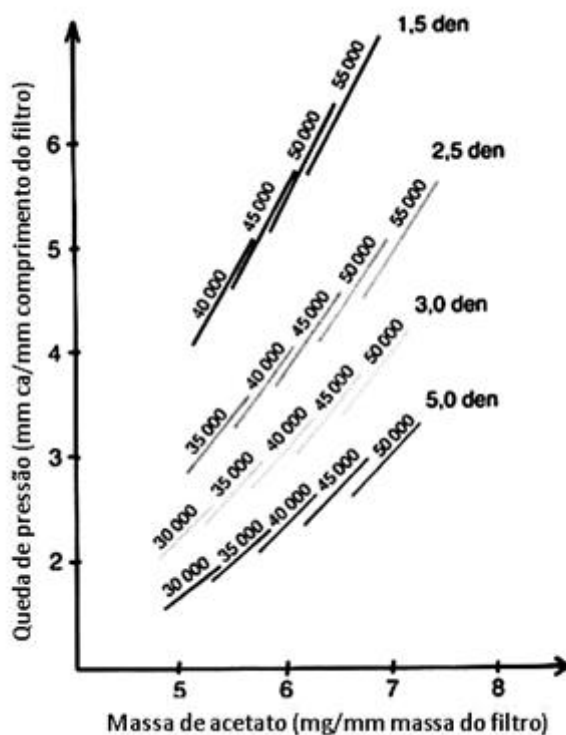
A queda de pressão - ou resistência à tragada - determina a quantidade de sucção que um fumante precisa aplicar para a tragada da fumaça através do filtro. A eficiência de filtração se refere à proporção do material retido pelo filtro, expressa em porcentagem. Estes dois parâmetros são relacionados de forma que quanto

maior a queda de pressão no filtro, maior será a eficiência deste na remoção das partículas da fumaça. Porém, em um cigarro o valor máximo para queda de pressão no filtro é de 150 mm de coluna de água², de acordo com a aceitação dos consumidores (BAT, 2006; BROWNE, 1990).

A eficiência de filtração e a queda de pressão são funções da área específica total das fibras que, por sua vez, é determinada pela massa de fibras do filtro, o número de fibras e o formato da seção transversal. De forma que, melhorias na eficiência de filtração das partículas da fumaça podem ser alcançadas com o aumento da área específica do filtro, mas que conseqüentemente implicam no aumento da queda de pressão, sendo este um fator perceptível e rejeitado pelo fumante (NORMAN, 1999; HOFFMANN e HOFFMANN, 1997).

De acordo com o seu título, os cabos de acetato são escolhidos para a fabricação dos filtros dentro de uma faixa de queda de pressão, que constitui a chamada curva de capacidade do acetato. A Figura 11 ilustra algumas curvas típicas para diferentes títulos de cabo de acetato, utilizadas nas indústrias.

Figura 11 – Curva de capacidade de diferentes títulos de cabo de acetato



Fonte: RUSTEMEYER (1998)

²O milímetro de coluna de água é uma unidade de medida de pressão. 1 atm equivale a 10,1797339656 mca (metros de coluna de água – mca).

Pelo ajuste do grau de abertura e da massa do cabo de acetato utilizada, se obtém a queda de pressão possível por título de cabo de acetato. Assim, as curvas de capacidade fornecem uma orientação muito importante para a fabricação de um filtro, pois ela indica qual a quantidade de acetato para um determinado título é necessária para o alcance da queda de pressão requerida. Da mesma forma, através das curvas é possível otimizar o custo final do produto, reduzindo a massa de acetato com a utilização de outro título, mantendo a queda de pressão constante (RUSTEMEYER, 1998).

Interpretando as curvas do gráfico, verifica-se que quanto maior é o *denier* total, maior será a queda de pressão. Inversamente proporcional, mantendo a massa de acetato constante, quanto menor o *denier* por filamento, maior será a queda de pressão. Essas relações são explicadas pelo aumento da área específica do cabo obtidas com filamentos de menor diâmetro.

Essas relações são extremamente úteis na etapa de desenvolvimento de produto nas indústrias. Através de um software com as curvas de todos os títulos disponíveis, é possível realizar a simulação da queda de pressão desejada para um determinado filtro, através da melhor combinação entre o tamanho do filtro e o seu título. Este software é de uso exclusivo das indústrias de cigarro, sendo disponibilizado pelos fabricantes de cabo de acetato.

2.6 A REDUÇÃO DOS CONSTITUINTES DA FUMAÇA ATRAVÉS DO FILTRO DE CIGARROS

Desde 1950 a indústria de cigarros se depara com o constante desafio de desenvolver novas tecnologias e materiais para a redução dos constituintes da fumaça de cigarros, em resposta à crescente consciência pública dos riscos associados ao consumo dos cigarros para a saúde dos fumantes (HOFFMANN e HOFFMANN, 1995).

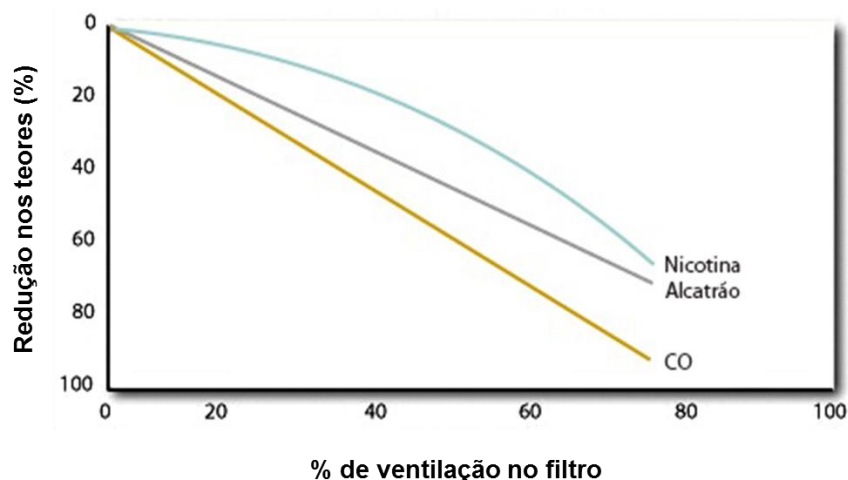
Em geral, é reconhecido que a redução dos principais constituintes na fase particulada e fase vapor da fumaça dos cigarros é alcançada pela combinação dos parâmetros de *design* do cigarro, incluindo o aumento na permeabilidade do papel de cigarros, alterações no filtro de cigarros e no *blend* de fumo, por exemplo.

Como já descrito no capítulo anterior, a utilização de filtros nos cigarros foi o primeiro recurso utilizado para a redução de alcatrão e nicotina na fumaça. Melhorias na eficiência de filtração foram alcançadas com o aumento do tamanho do filtro e redução no diâmetro dos filamentos do cabo de acetato, como descrito na pesquisa de Keith (1978), mas ao custo de maior queda de pressão, fator este rejeitado pelos fumantes, devido ao alto esforço para a tragada da fumaça (BROWNE, 1990; HOFFMANN e HOFFMANN, 1997).

Com o avanço das pesquisas na modificação do *design* do cigarro, desde meados da década de 1970, o conceito e utilização de ventilação no filtro teve rápido crescimento em participação de mercado, e, de acordo com Adam *et al* (2010), é considerado o método mais predominante e eficaz na redução dos teores da fumaça. Segundo Browne *et al* (1979), com a ventilação no filtro é possível uma redução geral dos constituintes da fumaça, inclusive os na fase gasosa, sem impacto significativo na queda de pressão.

Para fins dessa revisão bibliográfica, os estudos de Schur e Richards (1960), Kiefer e Touey (1967), Keith (1972 e 1978), Selke (1978), Browne *et al* (1979) e Norman *et al* (1984) foram consultados, e em síntese, os resultados demonstram que a utilização de ventilação no filtro pode reduzir os teores da fumaça principal dos cigarros em até 70%. Em particular, na pesquisa de Norman *et al* (1984), os autores afirmam que os teores da fumaça principal dos cigarros são reduzidos aproximadamente na mesma proporção aos níveis de ventilação inseridos, como mostra a Figura 12.

Figura 12 – Efeito da ventilação no filtro sobre a redução dos teores da fumaça



Fonte: Adaptado de Norman *et al* (1984)

Ainda segundo os autores (e como pode ser visualizado na Figura 12), a nicotina é reduzida em menor proporção devido à volatilidade do composto e alterações no processo de queima do cigarro. Porém, a ventilação no filtro não pode ser utilizada como parâmetro isolado do *design* do cigarro para a redução dos teores, pois a ventilação não apenas dilui a fumaça com a introdução de ar, mas também causa modificações no processo de combustão do fumo, influenciando na composição química dos constituintes, e conseqüentemente, no sabor da fumaça gerada (ADAM *et al*, 2010).

Ainda na alteração dos parâmetros do *design* do cigarro para a redução dos teores, Schur e Richards (1960) estudaram a influência da porosidade do papel de cigarros sobre a composição dos constituintes da fumaça. Em sua pesquisa, os autores demonstraram o efeito do aumento da porosidade do papel sobre a redução no número de tragadas, e por conseqüência, na redução dos teores de alcatrão e nicotina devido à maior velocidade de queima com a entrada de ar através dos poros do papel. Da mesma forma, Lipp e Van Nooy (1962) reportaram a redução do teor de monóxido de carbono na fumaça principal de cigarros com o aumento da porosidade do papel, devido à maior difusão dos gases da combustão do fumo.

Em geral, a maior parte da literatura disponível assume que a ventilação no filtro é o principal recurso utilizado pelas indústrias de cigarro para a redução teores, mas também é citado que todos os parâmetros do *design* do cigarro podem ser modificados para o alcance dos teores requeridos (STEPHENS, 2006). Porém, há pouca informação disponível sobre a forma como cada parâmetro contribui na composição da fumaça do cigarro, pois são mantidas como um segredo industrial, devido às restrições sobre o tema. Tanto que em 2010, na quarta sessão da Convenção-Quadro, a Organização Mundial da Saúde recorreu à comunidade científica para focar sua atenção em investigar a relação entre os elementos do *design* do cigarro sobre a composição da fumaça (FCTC/COP4(10), 2010).

Na indústria de cigarros, os pesquisadores e desenvolvedores de produto utilizam um software que simula os teores finais na fumaça do cigarro através da modelagem dos parâmetros de *design* do cigarro. Deste modo, é possível determinar quais características do cigarro precisam ser alterados para o alcance da redução dos teores. Com a utilização desse software, a combinação de dois ou mais parâmetros são modelados e aplicados diretamente em protótipos de cigarro para a validação dos teores. Uma vez conhecida essa relação entre o *design* do cigarro e a

composição da fumaça, e mantida como sigilo industrial, não há recentes publicações e informações de como esses fatores influenciam nos teores da fumaça.

Neste cenário, com tamanha importância do tema e frente a poucas publicações disponíveis, é que este trabalho se propõe a avaliar o efeito da variação de um único parâmetro de construção do cigarro, a densidade do filtro em termos das propriedades do *denier* do acetato de celulose, sobre a remoção dos principais constituintes da fumaça.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A fim de estudar o efeito da variação da densidade do filtro de cigarros nos teores dos principais constituintes da fumaça, foram fabricados protótipos de cigarro com filtros de diferentes especificações do *denier* do cabo de acetato. Após os cigarros foram avaliados em termos da composição dos teores de alcatrão, nicotina e monóxido de carbono na fumaça e das propriedades de filtração do filtro.

3.1 MATERIAIS

Na fabricação dos protótipos foi utilizado um *blend* com as variedades de fumo *Virgínia* e *Burley* (definidos para um cigarro típico de 10 mg de alcatrão) e com as seguintes especificações de *design*: comprimento do cigarro de 83 mm e circunferência de 24,3 mm, permeabilidade do papel de cigarros de 75 U.C (unidades coresta) e papel ponteira branco, sem perfuração. O filtro utilizado foi o de acetato de celulose, com comprimento de 22 mm e com formato em Y dos filamentos. Foram fabricados três protótipos de cigarro com as mesmas características de construção, apenas variando a densidade do filtro, conforme especificação do *denier* da fibra. Os cabos de acetato utilizados foram: 2.5Y32000, 2.1Y31000 e 3.0Y30000.

Para a determinação dos teores de alcatrão, nicotina e monóxido de carbono na fumaça de cigarros foram utilizados os seguintes reagentes e padrões analíticos: mistura de gases certificada – padrão de monóxido de carbono em nitrogênio de concentrações de 2% mol/mol, 5% mol/mol e 7% mol/mol; nicotina p.a. (99,7% de pureza); anetol p.a. (99,3% de pureza); isopropanol grau GC (99,5% de pureza) e etanol absoluto (99,5% de pureza).

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Fabricação dos protótipos de cigarro

Os filtros de cigarros foram fabricados a partir do cabo de acetato, utilizado conforme recebido pelo fabricante na forma de uma banda de filamentos contínua, embalado em fardos. O processo de fabricação do filtro consiste em estirar a banda

para a abertura e separação do cabo de acetato em fibras individuais, pois para melhor eficiência de filtração, as fibras precisam estar ao máximo expostas à fumaça do cigarro (BROWNE, 1990; RUSTEMEYER, 1998). A Figura 13 mostra a banda do cabo de acetato, antes do processo de fabricação do filtro.

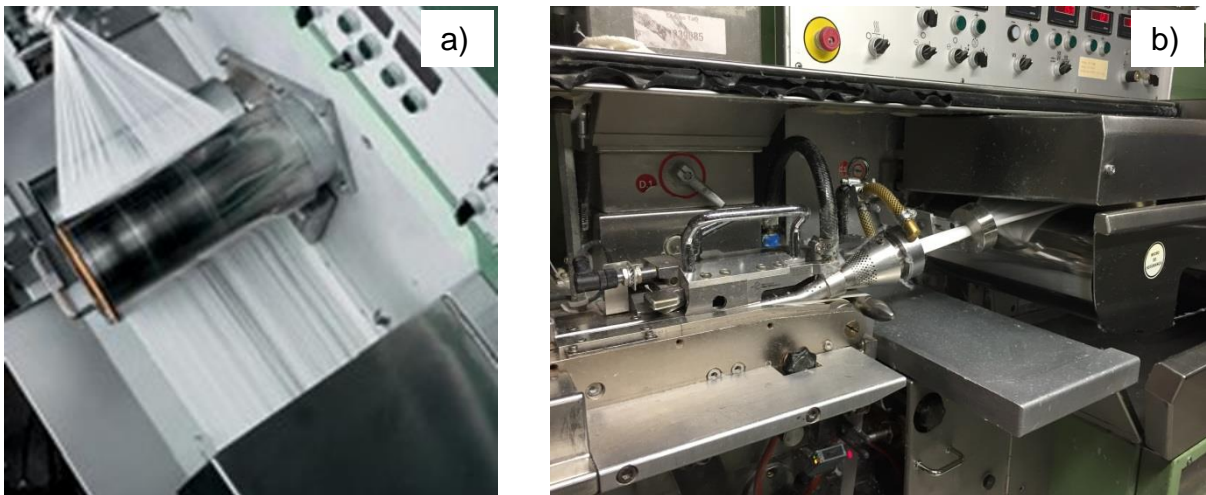
Figura 13 – A estrutura da banda de monofilamentos do cabo de acetato



Fonte: o autor (2016).

Nas máquinas de fabricação do filtro, a banda é tracionada para a abertura e separação das fibras do cabo de acetato. Esse processo é obtido através do alongamento e relaxação do cabo, sendo tracionado pelos rolos da máquina (Figura 14 a). Durante o processo de abertura, o cabo recebe a pulverização de triacetina, que age como plastificante – em média 8% de sua massa. O efeito do plastificante é a solda dos filamentos e o consequente aumento da firmeza do filtro. Após o estiramento do cabo e pulverização da triacetina, este é transportado até um funil que comprime o cabo no diâmetro final desejado para o filtro (Figura 14 b). Simultaneamente o cabo é envolvido por um papel de filtro, não poroso, e uma fina camada de cola é aplicada, moldando a barra de filtro em formato cilíndrico (BROWNE, 1990; RUSTEMEYER, 1998).

Figura14 – (a) Detalhe do estiramento do cabo de acetato de celulose através dos rolos e (b) Funil de formação da barra de filtro



Fonte: autor (2016).

Com a barra de filtro já formada, esta é transportada até uma faca giratória que corta as barras no comprimento do filtro desejado. O filtro no tamanho final e pronto para ser unido à barra de fumo na fabricação do cigarro é chamado de *plug* de filtro.

Com os *plug* de filtro, os protótipos de cigarro foram fabricados em máquina cigarreira, conforme tecnologia convencional de fabricação de cigarros em escala industrial.

3.2.2 Avaliação das propriedades físicas do filtro e do cabo de acetato

O desempenho dos filtros de cigarro como material filtrante da fumaça foi avaliado em termos da queda de pressão dos filtros produzidos com diferentes densidades e das propriedades da fibra do cabo de acetato.

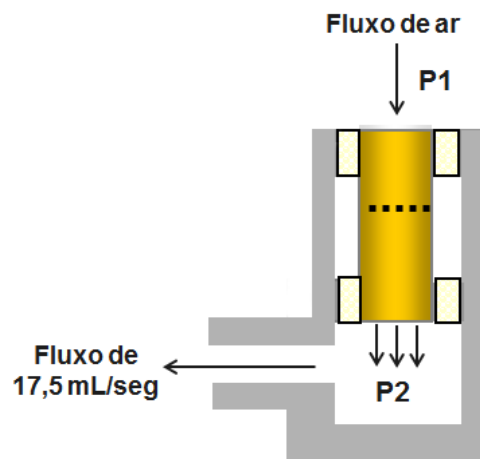
3.2.2.1 Queda de pressão no filtro

A queda de pressão em um filtro de cigarro é definida como a diferença de pressão gerada nas duas extremidades do filtro, quando aplicado um fluxo de ar constante. O ensaio de queda de pressão no filtro foi realizado conforme o método padronizado pela *International Organization for Standardization* (ISO) descrito na ISO 6565:2002 – *Tobacco and Tobacco products: Draw resistance of cigarettes and pressure drop of filter rods*.

A medição da queda de pressão no filtro é realizada a partir da aplicação de pressão negativa na extremidade de saída do filtro, gerando um fluxo volumétrico de ar de 17,5 mL/seg (mililitros por segundo). O ensaio somente pode ser realizado em atmosfera controlada, conforme as condições estabelecidas pela ISO 3402:1999 – *Tobacco and tobacco products: atmosphere for conditioning and testing*, pois a umidade, temperatura e pressão do ambiente influenciam diretamente na densidade e viscosidade do ar atmosférico.

A Figura 15 ilustra o princípio de medição da queda de pressão no filtro:

Figura 15 – Esquema ilustrativo da medição da queda de pressão no filtro



Fonte: o autor (2016)

Durante o ensaio, o filtro de cigarros é totalmente envolvido por uma membrana de látex, obstruindo a passagem de ar pela ventilação e laterais do filtro. De modo que o fluxo de ar atravessa somente o comprimento do filtro de cigarros, e a pressão de saída é medida na extremidade do filtro, por transdutores de baixa pressão. O resultado da queda de pressão é expresso em mmH₂O (milímetro de coluna de água), através da diferença de pressão entre as extremidades do filtro.

3.2.2.2 Propriedades físicas do cabo de acetato

A morfologia das fibras do acetato de celulose foi avaliada através das imagens geradas em microscópio, pela técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

3.2.3 Determinação da composição dos constituintes da fumaça de cigarros e da eficiência de filtração dos filtros para o teor de nicotina

A capacidade de remoção dos filtros de cigarro produzidos com diferentes densidades foi avaliada quanto à composição dos teores da fumaça de cada protótipo e da eficiência de filtração em relação ao teor de nicotina retido no filtro.

3.2.3.1 Análise da fumada de cigarros

Os principais constituintes da fumaça de cigarros foram determinados através do ensaio de fumada de cigarros, realizada em máquina de fumar - que é um equipamento especialmente projetado para coletar os constituintes da fumaça do cigarro (material particulado e fase gasosa) no momento da tragada.

A máquina de fumar (Figura 16) é constituída por 20 canais que simultaneamente realizam as tragadas através de pistões, quando acionada a linha de vácuo (em fluxo contínuo de 17,5 mL/seg). A fase particulada fica retida em Filtro *Cambridge* e a fase gasosa é coletada em sacos especiais para a determinação do monóxido de carbono.

Figura 16 – Máquina de fumar modelo SM 450, utilizada para a coleta da fase particulada e fase vapor da fumaça principal de cigarros



Fonte: CERULEAN (2016)

Os protótipos foram fumados simulando o comportamento do fumante a cada tragada, conforme a metodologia analítica padronizada pela ISO 3308:2011 – *Routine analytical cigarette smoking machine: definitions and standard conditions*. Seguindo as definições da ISO, as especificações da fumada do cigarro foram: Volume da tragada de 35 mL, com duração de 2 segundos e no intervalo de 60 segundos entre as tragadas.

3.2.3.2 Determinação dos teores de alcatrão, nicotina e monóxido de carbono na fumaça de cigarros e da eficiência de filtração

O monóxido de carbono (*carbon monoxide* - CO), constituinte da fase gasosa, foi quantificado simultaneamente com as tragadas durante o ensaio de fumada dos cigarros, através do analisador de infra-vermelho acoplado na máquina de fumar. O ensaio foi conduzido de acordo com o método padronizado pela ISO, descrito na norma ISO 8454:2007 – *Cigarettes: Determination of carbon monoxide in the vapour phase of cigarette smoke*.

A fase particulada da fumaça foi retida em Filtro *Cambridge*, gerando o condensado da fumaça conhecido por TSR – Total de Substâncias Retidas. Deste foi determinado o teor de alcatrão ou SURLAN (Substâncias Retidas Livre de Água e Nicotina) obtido pela diferença entre o TSR menos os teores de água e nicotina contidos no condensado da fumaça.

Para a análise de água e nicotina, o condensado da fumaça (TSR) foi extraído do Filtro *Cambridge* com uma solução de isopropanol contendo os padrões internos. Uma alíquota do extrato obtido foi analisada por cromatografia gasosa, para a quantificação dos teores. As análises de água e nicotina foram realizadas em conformidade com a metodologia internacional padrão, descrita nas normas ISO 10362:1999 – *Cigarettes: Determination of water in smoke condensates* e ISO 10315:2000 – *Cigarettes: Determination of nicotine in smoke condensates*, respectivamente.

E, com o ensaio de eficiência de filtração, os filtros de cigarro foram avaliados quanto a capacidade de retenção em relação ao teor de nicotina que fica retido no filtro, determinada também por cromatografia gasosa.

A descrição da realização dos ensaios e equipamentos utilizados está apresentada no Capítulo 4.

4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

4.1 FABRICAÇÃO DOS PROTÓTIPOS DE CIGARRO

Os filtros de acetato de celulose foram fabricados em máquina KDF-2 (fabricante Hauni) conforme tecnologia convencional de fabricação. As barras de filtro foram fabricadas com 24 mm de circunferência e 132 mm de comprimento, cortadas em *plug* de filtros de 22 mm de comprimento cada. Foram fabricados filtros de cigarros para cada uma das especificações do título do cabo de acetato, conforme descrição: 2.5Y32000, 2.1Y31000 e 3.0Y30000.

De cada título do cabo de acetato foi retirada uma amostra para a avaliação morfológica das propriedades da fibra do acetato de celulose.

Os protótipos de cigarro foram montados (união da barra de fumo e filtro) em máquina cigarreira MK-9 (fabricante Molins), utilizando os materiais descritos em 3.1. Foi ajustada a velocidade de produção para 5.000 cigarros/minuto e o tempo médio de produção para cada protótipo foi de 15 minutos (tempo mínimo estabelecido para a estabilização da máquina e realização de testes de qualidade nos cigarros).

Para cada protótipo produzido foram coletados 1.000 cigarros que foram analisados quanto à massa total do cigarro. Este ensaio foi realizado em um equipamento conhecido como Estação de Testes (fabricante Sodim), assim denominado, pois além da massa total realiza medições de circunferência, queda de pressão e ventilação do cigarro. Para a seleção dos protótipos somente foi utilizado o módulo de massa total de cigarros (constituído por uma balança analítica, com precisão de 0,1 mg) e o resultado expresso em miligramas por cigarro (mg/cig).

Os protótipos foram então selecionados por massa, conforme a especificação de 830 mg/cig com variação de ± 15 mg/cig. Dos cigarros aprovados, foi coletada uma amostra de 200 cigarros de cada protótipo, embalada em carteiras contendo 20 cigarros em cada e armazenada para a realização dos ensaios de queda de pressão no filtro e determinação dos teores da fumaça.

4.2 AMOSTRAGEM E CONDICIONAMENTO

As carteiras de cada protótipo foram abertas e randomizadas em 20 novas amostras, contendo 10 cigarros em cada. Para os ensaios foram separadas 5 amostras de cada protótipo – 4 amostras para a análise da composição dos teores da fumaça e 1 amostra para o ensaio de queda de pressão no filtro, o restante foi armazenado como reserva para os ensaios.

Para a realização dos ensaios, as amostras foram previamente condicionadas por 48 horas em câmara climática nas condições de 22 ± 1 °C de temperatura e $60 \pm 3\%$ de umidade do ar, conforme os estudos de Calafat *et al* (2004); Peters *et al* (2007) e Srbinoska e Kirkova (2010), seguindo os padrões definidos na ISO 3402:1999 – *Tobacco and tobacco products: atmosphere for conditioning and testing*.

4.3 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO FILTRO

4.3.1 Determinação da queda de pressão no filtro de cigarros

O ensaio queda de pressão no filtro de cigarros foi realizado no equipamento *Pressure Drop P10* (fabricante Borgwaldt), em condições atmosféricas controladas, conforme condição padrão de ensaio descrita na ISO 3402:1999.

Para a realização do ensaio, os filtros foram separados da barra de fumo através da quebra da junção filtro/barra de cigarros, como mostra a Figura 17. Os filtros foram utilizados para a medição de queda de pressão e as barras de fumo foram descartadas.

Figura 17 – Preparo dos filtros de cigarro para o ensaio de queda de pressão



Fonte: o autor (2016)

Previamente à realização do ensaio, o volume do fluxo de ar no equipamento de medição P10 foi verificado através da medição com padrões de vidro certificados (fluxo de ar laminar) nos níveis de 100 e 200 mmH₂O.

No P10 as amostras foram individualmente posicionadas no cabeçote de leitura, de forma que o filtro ficasse totalmente encapsulado pela membrana de látex. O vácuo na taxa de 17,5 mL/seg foi aplicado na extremidade de saída do filtro, e o valor de leitura da queda de pressão foi obtida através da equação:

$$QP_{filtro}(mmH_2O) = P_2 - P_1$$

Onde:

P₂: pressão final medida;

P₁: pressão inicial.

Para cada protótipo foram realizadas 10 medições (referente a uma amostra contendo 10 cigarros), e o valor individual, média e desvio padrão de cada protótipo estão apresentados no Anexo C.

4.3.2 Caracterização das fibras do cabo de acetato

Um microscópio eletrônico de varredura Zeiss, modelo EVO MA 10 foi utilizado para a geração de imagens tridimensionais das estruturas superficiais de cada cabo de acetato. As amostras foram metalizadas com carbono e as imagens foram geradas a partir de elétrons secundários, com a potência do microscópio ajustada para baixa tensão (1,0 a 5,0 kV), por ser mais apropriada devido ao tipo de matriz.

O estudo foi realizado no Centro de Microscopia e Microanálises (CMM) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS.

4.4 DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO DOS CONSTITUENTES DA FUMAÇA PRINCIPAL DE CIGARROS E DA EFICIÊNCIA DE FILTRAÇÃO DO FILTRO

Para a avaliação da influência da densidade do filtro sobre a redução dos constituintes da fumaça dos cigarros, os protótipos produzidos com diferentes

especificações de *denier* foram fumados em máquina de fumar e a composição da fumaça e a eficiência de filtração do filtro foram determinados por cromatografia gasosa.

4.4.1 Análise de fumada dos cigarros

Os protótipos de cigarros produzidos com diferentes densidades de filtro e previamente condicionados foram fumados em máquina de fumar modelo SM 450 (fabricante CERULEAN). A fase particulada foi coletada em Filtro *Cambridge* de 44 mm, para posterior extração e determinação dos teores de alcatrão e nicotina. A fase gasosa foi coletada em sacos especiais, e os teores de monóxido de carbono (CO) foram determinados através do analisador de infravermelho não dispersivo, modelo ATCOM 302 (fabricante Filtrona), acoplado na máquina de fumar.

Antes da execução do ensaio de fumada dos cigarros, a máquina de fumar foi ajustada em termos da velocidade média do ar para o valor de 200 ± 30 mm/seg, e o volume da tragada de cada canal para $35 \pm 0,3$ mL, conforme critérios definidos na ISO 3308:2011. A velocidade média do ar ao redor dos cigarros foi medida utilizando o anemômetro Filtrona VMD 100 (fabricante Filtrona) e o volume de tragada foi verificado com o auxílio de uma bureta de vidro com filme de sabão (fabricante Filtrona). O analisador de CO foi verificado em três níveis, com padrões certificados de gases, nas concentrações de 2, 5 e 7% mol/mol de monóxido de carbono em nitrogênio.

A análise de fumada de cigarros foi realizada em ambiente com condições atmosféricas controladas, conforme definições de ensaio descritas na ISO 3402:1999, sendo a temperatura ambiente de $22 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa do ar de $60 \pm 5\%$.

Para cada protótipo, uma amostra de 10 cigarros foi fumada simultaneamente em dois canais da máquina de fumar, com cinco cigarros em cada canal. O ensaio de fumada foi realizado em quádrupla, totalizando em oito interações/replicatas com 40 medições para cada protótipo.

A Figura 18 apresenta os 20 canais da máquina de fumar SM 450, e em cada o suporte contendo o filtro *Cambridge* para coleta da fase particulada da fumaça, durante o ensaio de fumada dos cigarros.

Figura 18 – Suporte contendo o filtro *Cambridge* durante o ensaio de fumada de cigarros em máquina de fumar



Fonte: Souza Cruz (2016)

Os cigarros foram fumados até o comprimento da ponteira + 3 mm, marcados previamente. Ao final do ensaio de fumada, os filtros de cigarro de cada protótipo foram retirados dos canais da máquina de fumar, e cuidadosamente foram separados do comprimento de barra de fumo não queimado, através da quebra da junção filtro/fumo. Os filtros foram reservados para a análise de eficiência de filtração para o teor de nicotina.

4.4.1.1 Determinação do TSR na fumaça dos cigarros

A fase particulada da fumaça ficou retida nos Filtros *Cambridge* e o TSR (Total de Substâncias Retidas) foi determinado gravimetricamente através da pesagem do Filtro *Cambridge* antes e após a fumada dos cigarros, de acordo com a equação:

$$TSR \left(\frac{mg}{cig} \right) = \frac{(P2 - P1) \times 100}{C}$$

Onde:

P2: Peso do suporte contendo o Filtro *Cambridge* depois da fumada;

P1: Peso do suporte contendo o Filtro *Cambridge* antes da fumada;

C: Número de cigarros por canal.

Os suportes contendo o Filtro *Cambridge* de cada canal foram reservados para a extração do condensado de fumaça e análise do teor de água e nicotina, para a determinação do teor de alcatrão.

4.4.1.2 Determinação do teor de CO na fumaça dos cigarros

O teor de monóxido de carbono na fumaça principal de cigarros foi quantificado simultaneamente com as tragadas durante o ensaio de fumada. A concentração de CO lida no analisador, em % mol/mol, foi convertida em mg/cig através da equação:

$$CO \left(\frac{mg}{cig} \right) = \frac{CO_{cor} \times Nc \times V \times P \times 273 \times 28}{S \times 100 \times 1013 \times T \times 22,2}$$

Onde:

CO%: Concentração de CO lida no analisador;

N: Número de tragadas nos cigarros;

V: Volume de tragada em mL;

P: Pressão atmosférica da sala em mbar;

273: Fator de conversão da temperatura para Kelvin;

28: Peso molecular do CO;

S: Número de cigarros fumados por canal;

1013: Pressão atmosférica em mbar nas CNTP;

T: Temperatura da sala em °C.

4.4.2 Determinação dos teores de água, nicotina e alcatrão na fumaça principal de cigarros

4.4.2.1 Preparo de soluções

A solução para extração de água e nicotina do condensado da fumaça foi preparada através da diluição de 5 mL de etanol absoluto e 200 µL de anetol p.a em balão volumétrico de 1000 mL, completando o volume com isopropanol grau GC. A concentração final obtida da solução de extração é de 3,9 mg/ml de etanol e 0,2 mg/ml de anetol. O etanol foi utilizado como padrão interno para a água e o anetol para a nicotina.

O preparo dos pontos da curva de calibração para o analito água foi realizado através da pesagem (em balança analítica com precisão de 0,1 mg) de alíquotas de água ultra pura para balões de 100 mL, diluídas com a solução de extração, conforme a Tabela 2:

Tabela 2 – Preparo dos pontos da curva de calibração de água

Ponto	Alíquota de água (mg)	Volume do balão (mL)	Concentração final (mg/mL)
1	25,0	100	0,25
2	50,0	100	0,50
3	100,0	100	1,00
4	150,0	100	1,50
5	250,0	100	2,50
6	350,0	100	3,50

O preparo dos pontos da curva de calibração para o analito nicotina foi realizado com a transferência de alíquotas da solução de nicotina (preparada pela dissolução de 200 mg de nicotina p.a em solução de extração em balão de 1000 mL – concentração de 2 mg/mL) para balões de 100 mL, diluídas com solução de extração, conforme a Tabela 3:

Tabela 3 – Preparo dos pontos da curva de calibração de nicotina

Ponto	Alíquota da solução de nicotina (mL)	Volume do balão (mL)	Concentração final (mg/mL)
1	2,5	100	0,05
2	5,0	100	0,10
3	10,0	100	0,20
4	15,0	100	0,30
5	20,0	100	0,40
6	30,0	100	0,60

A concentração de cada analito (água e nicotina) na respectiva curva de calibração foi construída de forma a abranger a faixa linear de cada método de análise.

4.4.2.2 Análise de água e nicotina no condensado da fumaça

Para a determinação dos teores de água e nicotina no condensado da fumaça, após a pesagem e determinação do TSR, os Filtros *Cambridges* foram retirados de cada suporte e transferidos para frasco *Erlenmeyer* de 150 mL, ao qual foram adicionados 20 mL da solução de extração (contendo o etanol e o anetol como padrões internos para água e nicotina, respectivamente). Os frascos foram submetidos a agitação em agitador orbital (fabricante Labline) por 20 minutos, em velocidade de 150 rpm. Após agitação, foi coletada uma alíquota do extrato de cada frasco e transferida para *vial* de 2 mL, para a quantificação dos teores.

Os teores de água e nicotina foram determinados por cromatografia gasosa, realizado em cromatógrafo Agilent, modelo 7890B. Para a análise de água, foi utilizada a coluna HP PLOT Q (30 m x 0,53 mm x 40 µm) para a separação cromatográfica e detector de condutividade térmica (TCD). Para a determinação do teor de nicotina, a coluna utilizada foi a DB-WAX (30 m x 0,32 mm x 25 µm) e a detecção em detector de ionização em chama (FID). A Tabela 4 ilustra as condições cromatográficas de análise utilizadas:

Tabela 4 – Condições cromatográficas da análise de água e nicotina no condensado de fumaça

Forno		
Programação de Temperatura	160 °C (4,5 min); 30 °C/min – 200°C (1,5 min)	
Injetor		
Canal	Frontal	Traseiro
Temperatura (°C)	250	210
Gás de arraste	He	He
Razão de Split	20:1	20:1
Pressão (psi)	13,5	10,0
Volume de injeção (µL)	2	1
Detector		
Tipo	FID	TCD
Temperatura (°C)	250	200
Fluxo H ₂ (mL/min)	35	-
Fluxo Ar (mL/min)	350	-
Fluxo gás de make-up	30 (N ₂)	-
Fluxo gás referência (mL/min)	-	7,8 (He)

Tabela 4 – Condições cromatográficas da análise de água e nicotina no condensado de fumaça (continuação)

Coluna		
Canal	Frontal	Traseiro
Modo	Fluxo constante	Fluxo constante
Fluxo (mL/min)	1,9	5,1
Fases	DB-Wax	HP PLOT Q

A concentração dos analitos foi obtida através da comparação da área dos picos de cada analito com as áreas obtidas na curva de calibração para o respectivo padrão interno (razão entre a resposta do analito e a resposta do padrão interno *versus* a razão entre a concentração do analito e a concentração do padrão interno), gerada através da análise dos pontos da curva de calibração (de concentração conhecida), preparados anteriormente, conforme descrito no item 4.4.2.1.

Assim, a concentração de água no condensado de fumaça foi determinada no *software* do cromatógrafo, através da equação:

$$\text{Água}_{cond} \left(\frac{mg_{\text{água}}}{cig} \right) = \frac{\left(\frac{A_{ag}}{A_{et}} - b_{ag} \right) X M_{et} X v}{a_{ag} X n}$$

Onde:

A_{ag} : Área cromatográfica do pico da água;

A_{et} : Área cromatográfica do pico do etanol;

a_{ag} : Coeficiente angular da curva de água;

M_{et} : Concentração de etanol na solução de extração (mg/mL);

v : Volume da solução de extração (mL);

b_{ag} : Coeficiente linear da curva de água;

n : Número de cigarros fumados por canal.

Da mesma forma, a concentração de nicotina no condensado da fumaça foi determinada conforme a equação:

$$\text{Nic}_{cond} \left(\frac{mg_{nic}}{cig} \right) = \frac{\left(\frac{A_{nic}}{A_{an}} - b_{nic} \right) X M_{an} X v}{a_{nic} X n}$$

Onde:

A_{nic} : Área cromatográfica do pico da nicotina;

A_{an} : Área cromatográfica do pico do anetol;

a_{nic} : Coeficiente angular da curva de nicotina;

M_{an} : Concentração de anetol na solução de extração (mg/mL);

v : Volume da solução de extração (mL);

b_{nic} : Coeficiente linear da curva de nicotina;

n : Número de cigarros fumados por canal.

Com os resultados de água e nicotina, foi possível determinar o teor de alcatrão ou SURLAN (Substâncias Retidas Livres de Água e Nicotina) obtido pela diferença entre o TSR menos a concentração de água e nicotina no condensado da fumaça, conforme a equação:

$$SURLAN \left(\frac{mg}{cig} \right) = TSR - (AG + NIC)$$

Onde:

TSR: Total de Substâncias Retidas, em mg/cig;

AG: Concentração de água no condensado da fumaça, em mg/cig;

NIC: Concentração de nicotina no condensado da fumaça, em mg/cig.

O resultado de cada replicata, média e desvio padrão da concentração de alcatrão, nicotina e monóxido de carbono na fumaça dos protótipos de cigarro estão apresentados no Anexo D.

4.4.3 Determinação da eficiência de filtração para o teor de nicotina na fumaça de cigarros

Para a determinação da eficiência de filtração, foram utilizados os filtros dos protótipos fumados para a análise de água e nicotina. Após o ensaio de fumada, os filtros de cada canal foram separados do papel ponteira e do papel de filtro, com o auxílio de uma pinça metálica, restando apenas o filtro de acetato de celulose. Os filtros, no total de 5 de cada canal, foram então transferidos para frascos *erlenmeyer* de 125 mL com tampa e aos mesmos foi adicionado 20 mL da solução de extração. Os frascos foram agitados em agitador orbital durante 30 minutos, em

velocidade de 150 rpm. Uma alíquota do extrato do filtro de cigarros foi transferido para *vial* de 2 mL para a determinação do teor de nicotina retido no filtro. A análise foi realizada em cromatógrafo gasoso 7890B, com detector de FID, seguindo o mesmo método e condições cromatográficas da análise de nicotina no condensado da fumaça, descrito no item 4.4.2.2.

A concentração de nicotina no filtro de cigarros, em mg/cig, foi obtida no software do cromatógrafo. A eficiência de filtração do filtro, expressa em porcentagem, foi determinada em termos do teor de nicotina retido no filtro de cigarros em relação ao teor de nicotina total, conforme a equação:

$$Ef (\%) = \left(\frac{Nic_{filt}}{Nic_{filt} + Nic_{cond}} \right) X 100$$

Onde:

Nic_{filt} : Concentração de nicotina retida no filtro de cigarros, em mg/cig;

Nic_{cond} : Concentração de nicotina no condensado da fumaça, em mg/cig;

100: Fator de conversão para percentual.

O resultado de cada replicata, média e desvio padrão do teor de nicotina retida no filtro e a eficiência de filtração calculada para cada protótipo estão apresentados no Anexo E.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

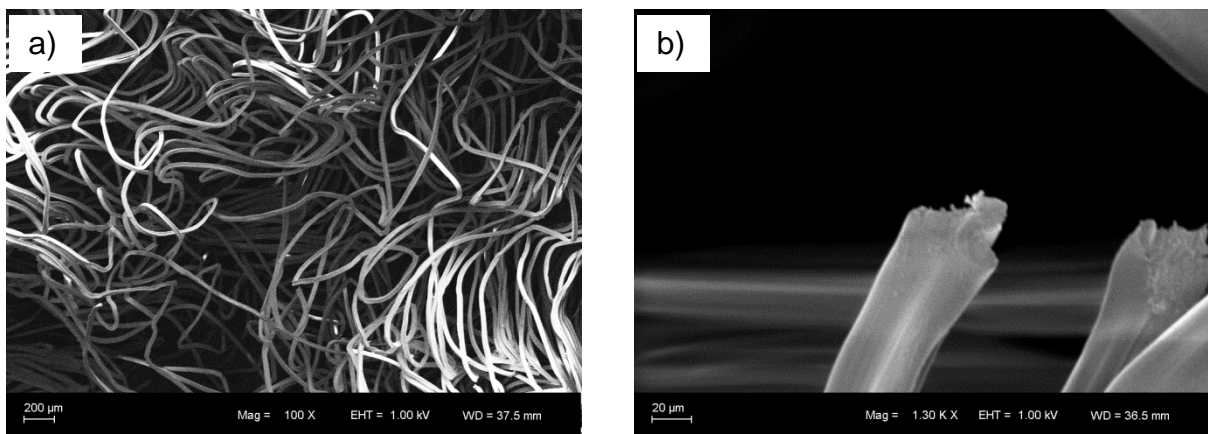
Neste capítulo estão apresentados os resultados obtidos na avaliação das propriedades do cabo de acetato de celulose e da queda de pressão no filtro dos protótipos de cigarro produzidos com diferentes densidades, e o efeito causado na composição dos teores dos principais constituintes da fumaça.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES DO ACETATO DE CELULOSE E DO FILTRO DE CIGARROS COMO MATERIAL FILTRANTE

Com o ensaio de MEV buscou-se identificar as propriedades físicas do cabo de acetato de celulose que caracterizam a sua utilização como material filtrante na retenção dos constituintes da fumaça de cigarros.

A Figura 19 (a) corresponde à micrografia obtida para o cabo de acetato de celulose, especificação de *denier* 2.1Y310000. É possível verificar o conjunto de filamentos contínuos e agrupados entre si, que definem a banda de acetato de celulose, e no detalhe, Figura 19 (b), a ponta de um único filamento do acetato de celulose, caracterizando o formato em Y da seção transversal de um filamento, conforme a especificação do título do cabo e, de acordo com a literatura consultada (RUSTEMEYER, 1998).

Figura 19 – (a) Micrografia da banda de acetato de celulose, com detalhe (b) no formato em Y da seção transversal de um filamento

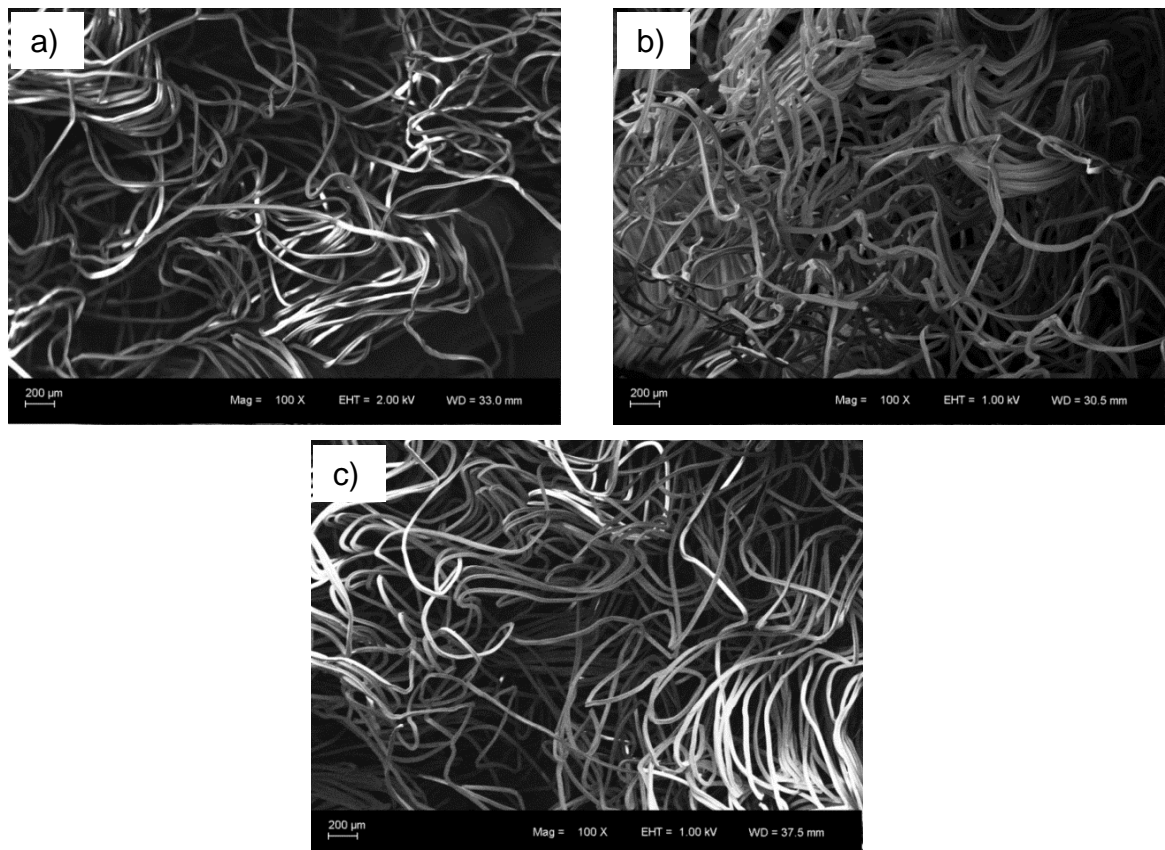


O perfil em Y dos filamentos se deve ao formato da fieira na qual o acetato de celulose foi extrudado. Norman (1999) descreveu que os primeiros filtros fabricados utilizavam o acetato de celulose de formato arredondado, porém com pouca eficiência de filtração. Atualmente, o acetato de celulose é extrudado em diferentes formatos de seção transversal, sendo o mais comum o formato em Y por conferir aos filamentos um aumento na superfície total das fibras disponíveis para a remoção das partículas da fumaça.

Com a vista longitudinal, Figura 19 (a) é possível avaliar o formato ondulado dos filamentos, devido ao processo de frisagem do cabo de acetato. Com a frisagem os filamentos do acetato de celulose, originalmente retos, são deformados permanentemente em ondulações no formato de zig-zag, que se cruzam, criando obstáculos para o caminho percorrido pela fumaça no interior do filtro de cigarros. Assim, a frisagem do cabo de acetato se configura como um importante fator na eficiência de filtração do filtro, devido ao entrelaçamento das fibras do acetato.

A Figura 20 ilustra as imagens obtidas para os três títulos do cabo de acetato utilizado na confecção dos protótipos de cigarro:

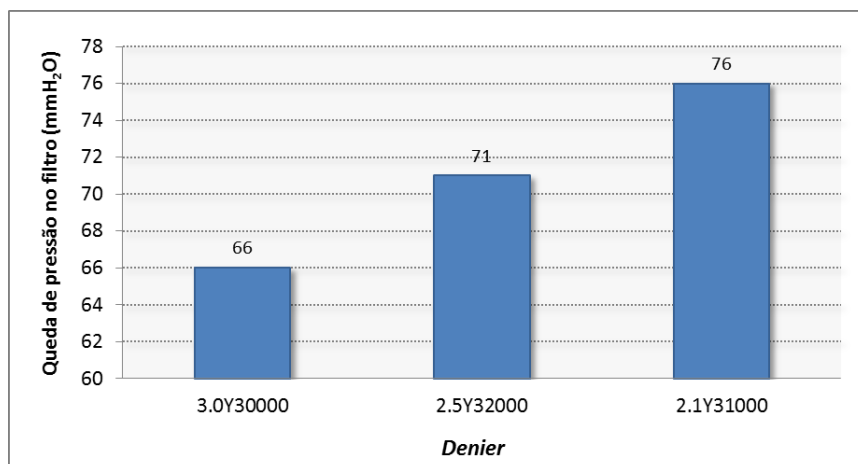
Figura 20 – Micrografias dos cabos de acetato de celulose, nas especificações de *denier*. (a) 3.0Y30000, (b) 2.5Y32000 e (c) 2.1Y31000



As microscopias mostram perfis superficiais semelhantes para os materiais analisados, independente da especificação do *denier* do cabo de acetato. Com as imagens não foi possível evidenciar diferenças estruturais na morfologia das fibras do acetato de celulose em virtude da diferença de espessura entre os filamentos de cada cabo. A distribuição dos filamentos se apresenta de forma similar nos diferentes títulos de cabo de acetato, apresentando formato irregular e agrupados de forma não ordenada.

Com as imagens geradas, a alteração no *denier* não apresentou diferenças visualmente perceptíveis na morfologia do cabo de acetato, mas impactou na queda de pressão dos filtros de cigarro fabricados, como mostra a Figura 21:

Figura 21 – Resultados do ensaio de queda de pressão no filtro dos protótipos fabricados com diferentes *denier* do cabo de acetato



O gráfico apresentado na Figura 21 ilustra a média das medições no ensaio de queda de pressão no filtro dos protótipos de cigarro fabricados com diferentes densidades do cabo de acetato. Pode-se verificar que, mantendo o comprimento do *plug* de filtro e a massa de acetato constante na fabricação dos protótipos, a queda de pressão no filtro aumentou com a redução no *denier* por filamento do cabo de acetato. Essa relação se justifica pelo aumento da área específica do cabo, obtida com filamentos de menor diâmetro, e conseqüentemente, maior número de filamentos em uma mesma banda de acetato.

Para melhor compreensão, a Tabela 5 ilustra a relação entre o *denier* do cabo de acetato, o número de filamentos e o efeito na queda de pressão (QP) no filtro:

Tabela 5 – Relação entre o número de filamentos em cada título de cabo de acetato e o efeito na queda de pressão no filtro

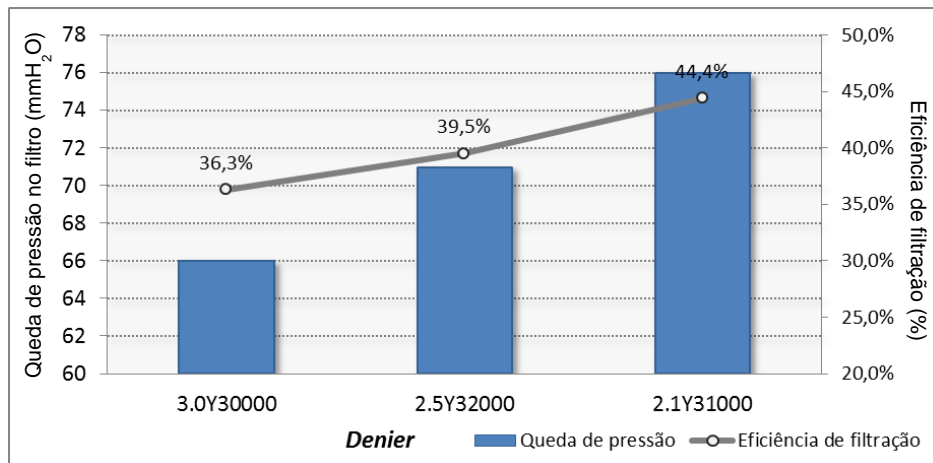
<i>Denier</i>	Número de filamentos	QP Filtro (mmH ₂ O)
3.0Y30000	10.000	66
2.5Y32000	12.800	71
2.1Y31000	14.762	76

Na pesquisa de RUSTEMEYER (1998) o autor reportou que quanto menor a espessura do *denier* por filamento, maior será a queda de pressão obtida, com a mesma massa de acetato. Através da realização do ensaio de queda de pressão no filtro dos protótipos fabricados, foi possível confirmar este dado, justificando o aumento da queda de pressão com a redução do diâmetro dos filamentos. Este efeito já era esperado e confirma a tendência ilustrada na curva de capacidade de diferentes títulos de cabo de acetato, conforme a Figura 11.

Assim, o aumento na queda de pressão do filtro para o título 2.1Y31000 se justifica tanto pelo maior número de filamentos quanto pela compactação dos filamentos do acetato de celulose em um mesmo volume de *plug* de filtro. Ao contrário do título 3.0Y30000 que ocasiona queda de pressão mais baixa, pois é constituído por filamentos de maior diâmetro, permitindo a geração de caminhos preferenciais da fumaça ao longo do filtro.

Com os resultados sumarizados na Tabela 5, é possível verificar que a espessura e o número de filamentos em um cabo de acetato de celulose influenciam na capacidade de retenção do filtro, pois interferem diretamente na área superficial disponível das fibras. Considerando um dos principais mecanismos de filtração da fumaça de cigarros, a remoção mecânica das partículas, o aumento na queda de pressão no filtro implica em maior eficiência de filtração na remoção das partículas. A Figura 22 ilustra o comportamento da eficiência de filtração com o aumento da queda de pressão no filtro.

Figura 22 – A relação entre a queda de pressão e a eficiência de filtração nos filtros dos protótipos fabricados com diferentes *denier* do cabo de acetato



O gráfico apresentado na Figura 22 corrobora com os resultados reportados por Hoffmann e Hoffmann (1997), em que melhorias na eficiência de filtração podem ser obtidas com a utilização de cabo de acetato com maior número de filamentos, porém ao custo de maior queda de pressão no filtro, fator este que implica em prejuízo à mecânica de fumada, devido ao esforço maior que o fumante precisa aplicar para a tragada da fumaça.

Considerando que a maior diferença de queda de pressão no filtro obtida entre os títulos de acetato de celulose analisados foi de 10 mmH₂O, não é seguro afirmar que, por apresentar maior queda de pressão, não seria possível a utilização do cabo de acetato 2.1Y31000 na fabricação dos filtros de cigarro, pois poderia impactar em um esforço excessivo para a realização da tragada. Em função de não existir uma metodologia padrão com tolerâncias para a variável queda de pressão no filtro (é utilizado como referência dados históricos de produção e pesquisas de aceitação junto ao consumidor, BAT (2006)), conclui-se que os três títulos de acetato de celulose empregados nesta pesquisa estão adequados para a utilização em filtros de cigarro, visto que podem ser utilizados variáveis de contorno na etapa de construção do filtro, como a redução da massa do cabo de acetato no *plug* de filtro e/ou a inserção de ventilação na ponteira dos cigarros, a fim de minimizar o impacto na queda de pressão.

5.2 A COMPOSIÇÃO DOS TEORES DE ALCATRÃO, NICOTINA E CO NA FUMAÇA PRINCIPAL DE CIGARROS

Através dos ensaios de determinação dos teores de alcatrão, nicotina e CO na fumaça de cigarros e de eficiência de filtração do filtro, foi possível avaliar o desempenho dos filtros com diferentes especificações de *denier* do acetato de celulose quanto à retenção dos constituintes da fumaça.

Para ilustrar a influência da densidade do filtro de cigarros sobre a composição dos teores da fumaça principal, a Tabela 6 apresenta os valores de média dos ensaios de eficiência de filtração e dos teores de alcatrão, nicotina e CO na fumaça dos protótipos de cigarros produzidos:

Tabela 6 – Resultados dos ensaios de determinação dos teores de alcatrão, nicotina e CO na fumaça de cigarros e da eficiência de filtração dos protótipos de cigarro fabricados

<i>Denier</i>	Número de filamentos	Eficiência de filtração (%)	Alcatrão (mg/cig)	Nicotina (mg/cig)	CO (mg/cig)
3.0Y30000	10.000	36,3	12,2	1,01	10,6
2.5Y32000	12.800	39,5	11,4	0,94	10,5
2.1Y31000	14.762	44,4	10,5	0,83	10,6

É possível verificar que os teores de alcatrão e nicotina na fumaça foram reduzidos em proporção inversa ao número de filamentos do acetato de celulose. O filtro de cigarros produzido com o cabo de acetato de especificação 3.0Y30000 apresenta 36,3% de eficiência de filtração para o teor de nicotina, enquanto o protótipo de *denier* 2.1Y31000, que corresponde ao cabo de acetato com maior queda de pressão (Figura 22), apresenta eficiência de filtração de 44,4%. Sendo a queda de pressão e a eficiência de filtração indicadores da capacidade de retenção do filtro, com os resultados foi possível confirmar que estes dois parâmetros são diretamente relacionados com a redução dos teores.

Considerando que os protótipos de cigarro utilizados neste experimento foram fabricados com o mesmo *blend* de fumo e demais características de *design* do cigarro, apenas com a variação de filtros com diferentes especificações de *denier* do acetato de celulose, pode-se concluir que a redução dos teores de alcatrão e nicotina na fumaça de cigarros se deve unicamente às características de filtração do

cabo de acetato. A diferença entre os cabos de acetato utilizado para a fabricação dos filtros se configura na variação do *denier* por filamento (dpf) e que conseqüentemente afeta o *denier* total. Desta forma, o cabo de acetato de especificação de *denier* 2.1Y31000 apresenta menor quando comparado com os cabos de *denier* 3.0Y30000 e 2.5Y32000.

Com os resultados apresentados na Tabela 6 constata-se que o cabo de acetato de *denier* 2.1Y31000 apresenta o maior valor de eficiência de filtração, e que quanto menor é o *denier* por filamento do cabo de acetato, maior foi a eficiência de filtração do filtro obtida. Os resultados de eficiência de filtração obtidos nos protótipos elaborados seguem o mesmo comportamento apresentado nos resultados reportados por Keith (1978), como mostra Tabela 7, em que o autor afirma a relação existente entre o dpf e a redução dos teores.

Tabela 7 – Relação entre o dpf e a eficiência de filtração em um filtro de acetato de celulose, com 20 mm de comprimento de *plug*

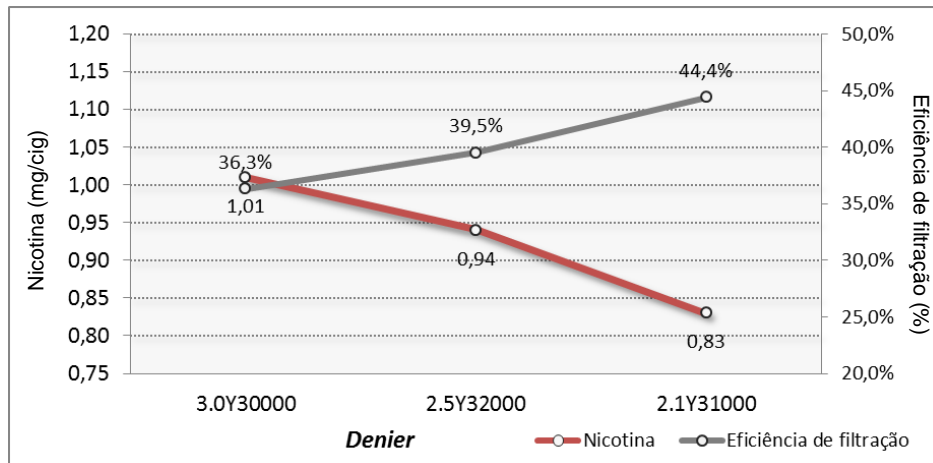
Dpf	QP Filtro (mmH ₂ O)	Eficiência de filtração (%)
1.1	159	55.0
2.0	87	43.4
3.1	56	33.3
3.8	46	28.6
4.7	37	23.9

Fonte: Keith (1978)

Conforme descrito por Kiefer e Touey (1967), o mecanismo de filtração mais eficaz para a remoção do material particulado da fumaça de cigarros é através da filtração mecânica, devido à colisão das partículas da fumaça com as fibras do acetato de celulose. Com a realização dos ensaios nos protótipos foi possível confirmar que reduzindo o dpf do cabo de acetato, maior foi a eficiência de filtração obtida, atribuída aos filamentos de menor espessura, e conseqüentemente, ao maior o número de filamentos disponível para a retenção das partículas.

A Figura 23 apresenta a relação dos resultados da eficiência de filtração do filtro e os teores de nicotina na fumaça de cigarros, em que é possível verificar que o teor mais baixo de nicotina corresponde ao protótipo de *denier* 2.1Y31000.

Figura 23 – Resultados dos ensaios de eficiência de filtração e determinação do teor de nicotina na fumaça dos protótipos de cigarro fabricados



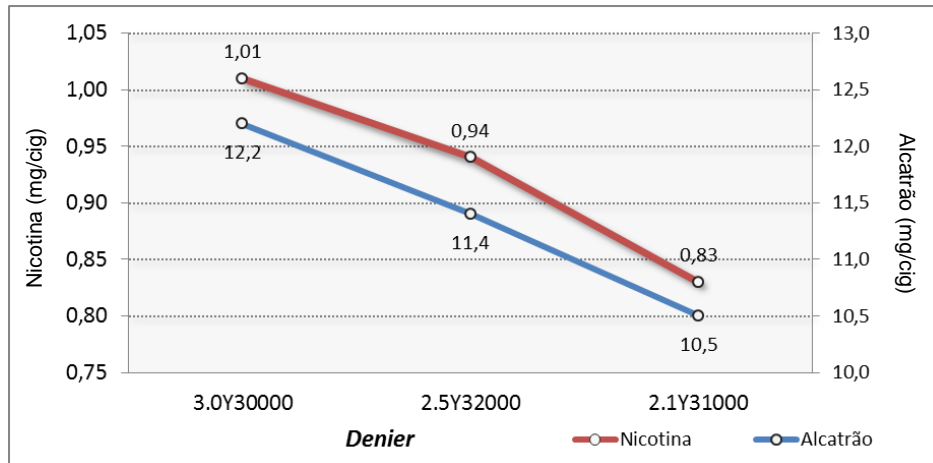
Com o gráfico apresentado na Figura 23, verifica-se que o aumento na eficiência de filtração do filtro é proporcional à redução do teor de nicotina na fumaça de cigarros. Avaliando o comportamento dos cabos de acetato em relação à eficiência de filtração, é possível constatar que o cabo de acetato de *denier* 2.1Y31000 apresentou melhor desempenho na redução do teor de nicotina. Comparando os resultados obtidos neste experimento com as conclusões descritas no estudo de Keith, conclui-se que a alta eficiência de filtração apresentada pelo *denier* 2.1Y31000 é principalmente ocasionada pelos filamentos de menor espessura que compõem o cabo de acetato de celulose, conferindo maior área superficial disponível para a colisão das partículas da fumaça com os filamentos do acetato de celulose.

A variação de aproximadamente 36% a 44% de eficiência de filtração para os filtros fabricados com diferentes densidades é praticamente a faixa de filtração alcançada com esses títulos de cabo de acetato, nestas configurações de *design* do cigarro e *blend* de fumo. De forma que, reduções em níveis maiores que 1,01 – 0,83 mg de nicotina por cigarro somente poderiam ser atingidas com a utilização de outro título de cabo de acetato, a fim de não ocasionar prejuízos à variável queda de pressão no filtro.

E, em relação ao teor de alcatrão na fumaça dos cigarros, os filtros de cigarros fabricados com diferentes densidades não apresentaram desempenho de filtração diferenciado para os teores de alcatrão e nicotina, como mostra a Figura 24,

apresentando comportamento similar de redução dos teores, de acordo com a redução no *denier* por filamento do cabo de acetato.

Figura 24 – Resultados do ensaio de determinação do teor de alcatrão e nicotina na fumaça dos protótipos de cigarro fabricados com diferentes *denier* do acetato de celulose



Através da Figura 24 pode-se constatar que a variação na densidade do filtro, em termos das propriedades do *denier* do cabo de acetato, possui influência na retenção dos teores de alcatrão e nicotina na fumaça dos cigarros. E, estes constituintes foram reduzidos de forma similar pois ambos estão presentes na fase particulada da fumaça, sendo retidos pelo mesmo mecanismo de filtração física das partículas.

Desta forma, é possível afirmar que os teores de alcatrão e nicotina foram principalmente reduzidos pelo efeito da redução da espessura dos filamentos de acetato de celulose, conferindo maior disponibilidade das fibras para a retenção das partículas. Evidencia-se que os constituintes da fase particulada foram reduzidos em proporção inversa ao número de filamentos presentes no cabo de acetato, como mostra a Figura 24, corroborando com o efeito da distribuição dos filamentos em um *plug* de filtro, sobre a remoção dos constituintes. De forma que, observa-se menor retenção dos teores para o cabo de acetato de *denier* 3.0Y30000, possivelmente por apresentar melhor distribuição e espaços vazios entre os filamentos, facilitando a passagem da fumaça através do *plug* de filtro. Ao contrário do cabo de acetato de *denier* 2.1Y31000, que possui maior número de filamentos e, em um mesmo volume de *plug* de filtro, se configura com maior compactação dos filamentos dentro do filtro, reduzindo o caminho disponível para a passagem da fumaça. Porém, com as

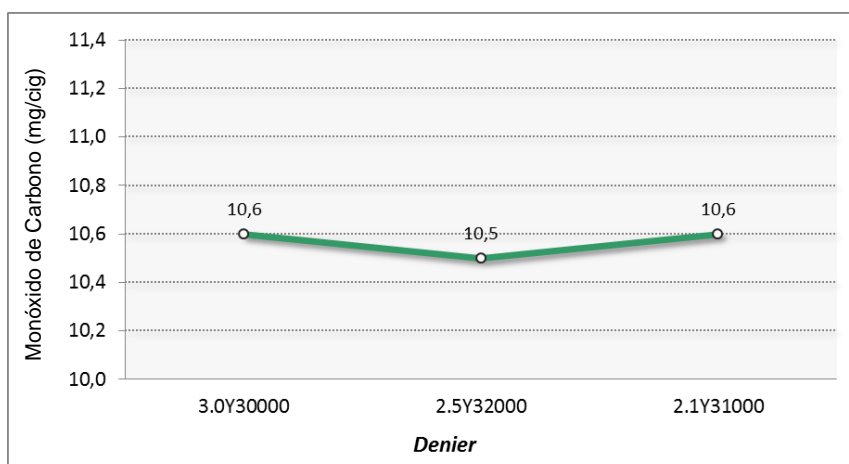
micrografias geradas na análise de MEV não foi possível evidenciar diferenças na distribuição dos filamentos entre os cabos de acetato analisados, como mostram as imagens apresentadas em 5.1.

Com os resultados apresentados na Figura 24 é possível avaliar que, com a redução do *denier* por filamento do cabo de acetato de 3.0 para 2.1, o teor de alcatrão na fumaça dos cigarros foi reduzido em 16% e o teor de nicotina em 21%, aproximadamente, mostrando que a alteração nas propriedades do *denier* do acetato de celulose se configura como um importante recurso na redução dos constituintes da fase particulada da fumaça. Porém, cabe ressaltar que este efeito de redução dos teores foi atingido com impacto na variável queda de pressão no filtro, e como já descrito, pode ser percebido e rejeitado pelos fumantes.

Em contrapartida, a alta resistência à tragada não invalidaria a utilização de cabos de acetato com menor *denier* por filamento em filtros de cigarros, visto que podem ser empregadas outras variáveis de *design* do cigarro, como a inserção de ventilação na ponteira dos cigarros e com a utilização de papéis de cigarro com maior permeabilidade, de forma a contornar o impacto e não apresentar prejuízo na aceitação do produto junto aos consumidores.

Por outro lado, a variação nas propriedades do *denier* do acetato de celulose não apresenta efeito na redução do teor de monóxido na fumaça de cigarros, como mostra a Figura 25:

Figura 25 – Resultados do ensaio de determinação do teor de CO na fumaça dos protótipos de cigarro fabricados



Avaliando o comportamento apresentado quanto ao teor de CO na fumaça dos protótipos de cigarros elaborados com diferentes densidades de filtro, já era esperado que alterações no *denier* do cabo de acetato não apresentariam algum desempenho na filtração de CO, pois a fase gasosa da fumaça não é retida pelos meios de filtração mecânica comum (PETERS *et al*, 2007).

Para a redução dos constituintes na fase gasosa poderiam ter sido empregados outros recursos com a finalidade de filtração seletiva, como por exemplo, a utilização de carvão ativado nos filtros de cigarro. Scherer *et al* (2006) reportaram em sua pesquisa o efeito positivo da utilização de carvão ativado na redução dos teores de óxidos de nitrogênio, aldeídos voláteis e monóxido de carbono na fumaça de cigarros. Já na pesquisa de Taylor (2014), o autor afirma que filtros de cigarro contendo carvão ativado têm a capacidade de remoção de até 40% dos teores de monóxido de carbono e óxidos de nitrogênio, e até 70% do conteúdo de benzeno na fumaça de cigarros.

No entanto, mesmo com enorme potencial de remoção seletiva de alguns componentes na fase vapor, a utilização de carvão como material filtrante possui efeitos indesejáveis, pois confere sabor e aroma à fumaça de cigarros. De fato, esse efeito definido pelos fumantes como um sabor metálico, é o maior responsável pela rejeição dos filtros com carvão entre os consumidores (KEITH, 1978). Além do fator custo, pois a fabricação de filtros contendo carvão ativado demandam maior complexidade de produção e maior custo de matéria-prima, quando comparado com filtros fabricados somente com acetato de celulose.

Como alternativa à utilização de materiais absorventes para a redução do teor monóxido de carbono na fumaça, poderiam ter sido empregadas outras variáveis de *design* dos cigarros na elaboração dos protótipos, como a utilização de ventilação na ponteira e de papéis de cigarro com maior porosidade. Estes recursos, segundo Browne (1990), implicam na redução de todos os componentes da fumaça de cigarros (incluindo os na fase vapor), devido à diluição da fumaça ingerida pelo fumante com a entrada de ar.

Como o propósito do estudo foi avaliar a influência da densidade do filtro na redução dos teores da fumaça de cigarros, foi possível constatar que a variação nas propriedades do *denier* do filtro de acetato de celulose apresenta grande desempenho de remoção dos constituintes da fase particulada da fumaça, como o alcatrão e a nicotina, porém, não apresenta efeito na redução do teor de monóxido

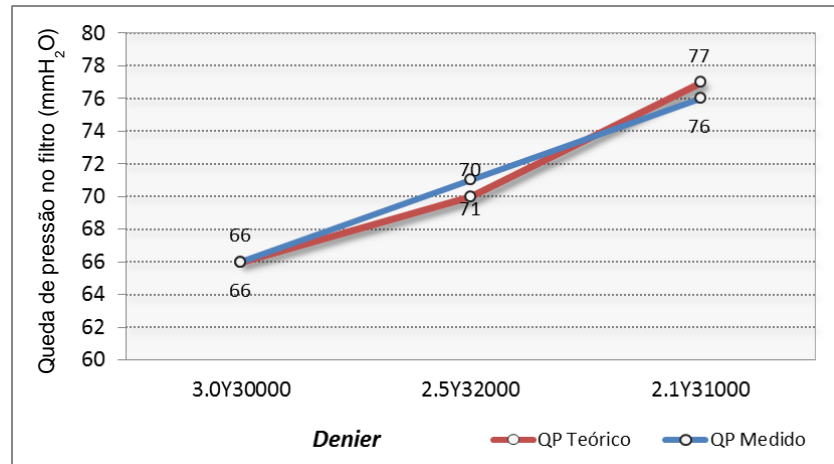
de carbono, substância volátil presente na fase vapor da fumaça. No entanto, não seria permitida a comercialização de cigarros com os parâmetros de *design* adotados na elaboração dos protótipos de cigarro neste experimento, pois com todas as variações de cabos de acetato utilizados, os teores de alcatrão e monóxido de carbono por cigarro estão acima dos limites máximos permitidos pela legislação brasileira, em conformidade com a resolução RDC 46 da ANVISA de 2001, que são: 10:1:10 mg/cig de alcatrão, nicotina e monóxido de carbono, respectivamente.

5.3 VALIDAÇÃO DO SOFTWARE DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

Com a elaboração dos protótipos foi possível validar o *software* de desenvolvimento de produto utilizado nas indústrias de cigarro para a modelagem dos parâmetros de *design* do cigarro sobre a variável de resposta queda de pressão.

Na simulação com o *software* foram inseridos os mesmos parâmetros de *design* do cigarro empregados na elaboração dos protótipos, como o comprimento e a circunferência do *plug* de filtro, a massa do cabo de acetato no filtro e os títulos do acetato de celulose utilizados, descritos em 3.1. Com a combinação dos parâmetros de *design*, para cada especificação de título do acetato de celulose foi reportado o valor teórico para a variável queda de pressão no filtro. Os valores informados na simulação com o *software* foram comparados com a média dos resultados obtidos no ensaio de queda de pressão no filtro realizado neste experimento, como mostra a Figura 26.

Figura 26 – Comparação dos resultados de queda de pressão no filtro obtidos no experimento e os valores informados na simulação com o *software*



Com as curvas apresentadas na Figura 26 é possível verificar que, para cada especificação de *denier* do cabo de acetato, os resultados simulados no *software* são idênticos aos reproduzidos no ensaio de queda de pressão dos protótipos elaborados. E, para fins de comparação, através da análise estatística realizada com o teste de hipótese ($p=0,004$), é possível afirmar com confiança maior que 95% que não há diferença significativa entre os valores de queda de pressão simulados com o *software* e os resultados de média obtidos no experimento.

Este *software* é utilizado pelas indústrias de cigarro na etapa de desenvolvimento de produto, em que através deste é determinada a combinação mais adequada entre o título do cabo de acetato e os demais parâmetros de *design* do cigarro, a fim de atender aos requisitos do consumidor, da legislação vigente e da própria empresa de cigarros. Considerando a viabilidade econômica, para as indústrias de cigarro o custo do cabo de acetato é o mesmo, independente da especificação do *denier*, e com a utilização do *software* é possível determinar qual o título de acetato de celulose é o mais adequado para ser empregado na fabricação do filtro, mantendo uma mecânica confortável de tragada para o fumante (sem impacto na queda de pressão) e com o menor custo do produto final.

Assim, frente à tamanha importância da utilização deste *software* no desenvolvimento de produto nas indústrias de cigarro, com protótipos fabricados neste experimento foi possível comprovar que este *software* é apropriado e bastante assertivo quanto à modelagem dos parâmetros de *design* do cigarro sobre a variável queda de pressão no filtro.

CONCLUSÃO

Com os protótipos de cigarro fabricados com filtros de diferentes especificações do *denier* do cabo de acetato de celulose comprova-se que existe relação entre o aumento da eficiência de filtração com o aumento da densidade do filtro, alcançado com a utilização de cabos de acetato de celulose com menor *denier* por filamento.

Através do ensaio de determinação dos teores da fumaça foi possível comprovar que a redução no *denier* por filamento no cabo de acetato apresenta grande desempenho na redução dos teores de alcatrão e nicotina, constituintes presentes na fase particulada da fumaça que foram retidos pelo mecanismo de filtração mecânica das partículas. No entanto, a alteração no *denier* não apresentou melhoria na redução do teor de monóxido de carbono, efeito que já era esperado, pois filtros de acetato de celulose não apresentam seletividade para substâncias na fase vapor da fumaça.

Os ensaios realizados neste estudo para a avaliação das propriedades das fibras do cabo de acetato mostram que o seu desempenho na retenção dos constituintes da fumaça não se dá majoritariamente pelos filamentos de menor espessura que constituem o cabo de acetato de celulose, ocasionando maior área específica de contato com as partículas da fumaça, mas também pela compactação dos filamentos dentro do segmento do *plug* de filtro, em que ocorre a interrupção dos caminhos percorridos pela fumaça dentro do filtro de cigarros. Porém, este efeito de distribuição dos filamentos não foi evidenciado com as microscopias dos diferentes *denier* de acetato de celulose.

Considerando os resultados obtidos na pesquisa pode-se concluir que o aumento na densidade do filtro de cigarros pode ser utilizado como um recurso de redução dos teores da fase particulada da fumaça. No entanto, sua aplicação somente é possível se utilizada de forma combinada com outras variáveis de *design* do cigarro, de forma a não apresentar prejuízo na aceitação do produto junto aos consumidores.

Quanto ao software utilizado para o desenvolvimento e manutenção de produto nas indústrias de cigarro foi possível confirmar que este é bastante assertivo quanto à modelagem do parâmetro queda de pressão no filtro. Com os resultados demonstrados neste experimento é possível afirmar que não há diferença

significativa entre os valores de queda de pressão simulados com o software e os resultados obtidos no ensaio de queda de pressão realizado nos protótipos de cigarro.

Por fim, é importante salientar que os resultados evidenciados nesta pesquisa foram obtidos a partir de testes em laboratório e não podem ser assumidos como valores absolutos de redução dos teores da fumaça de cigarros. Mas sim, podem ser adotados como indicadores do efeito da densidade do filtro sobre a composição dos teores de alcatrão, nicotina e monóxido de carbono na fumaça principal de cigarros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAM, T. *et al.* **Influence of filter ventilation on the chemical composition of cigarette mainstream smoke.** *Analytica Chimica Acta*. v. 657, n. 1, p. 36-44, 2010.

ANVISA, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **A Anvisa e o Controle dos Produtos Derivados do Tabaco.** Disponível em:

<<http://portal.anvisa.gov.br/documents/106510/106594/A+Anvisa+e+o+Controle+dos+Produtos+Derivados+do+Tabaco/4af73983-9d76-4af4-93c0-e35f153a18a7>>.

Acesso em: 22 Maio 2016.

BAT, British American Tobacco. **BAT Science – Filters.** Disponível em:

<http://www.bat.com/groupms/sites/BAT_9GVJXS.nsf/vwPagesWebLive/DO7AXGBN>. Acesso em: 17 Julho 2016.

Battista, S. P. **Proceedings on the 3rd World Conference on Smoking and Health.** New York, June 2-5, 1975. Gori, G. B. (Edt). Department of Health, Education and Welfare. Public Health Service. National Cancer Institute, p. 517-34, 1976.

Browne, C. L.; **The Design of Cigarettes.** 3rd ed. Charlotte: Hoechst Celanese Corporation, 1990.

Browne, C. L.; Keith, C. H.; Allen, R. E. **The effect of filter ventilation on the yield and composition of mainstream and sidestream smoke.** *Celanese Fibers Company*. North Carolina, v. 10, n. 2, 1979.

Calafat, A. M. *et al.* **Determination of tar, nicotine, and carbon monoxide yields in the mainstream smoke of selected international cigarettes.** *Tobacco Control*, v. 13, p. 45–51, 2004.

CERULEAN. **Tobacco: Smoking Machines.** Disponível em:

<<http://www.cerulean.com/product-services/tobacco/smoking-machines/linear-smoking>>. Acesso em: 14 Agosto 2016.

Doll, R. **Cancer related to smoking.** Preliminary report. 2nd World Conference Smoking and Health. London, 1975.

FCTC, Framework Convention on Tobacco Control. FCTC/COP4(10). **Conference of the Parties to the World Health Organization.** Regulation of the contents of tobacco products and Regulation of tobacco product disclosures. 4^a session.

Uruguai, 2010. Disponível em: <<http://www.who.int/fctc/copdecisions.pdf>>. Acesso em: 10 Abril 2016.

Geiss, O.; Kotzias, D. **Tobacco, cigarettes and cigarette smoke – an overview**. European Commission, Institute for Health and Consumer Protection. Luxembourg, p. 79, 2007.

George, T. W.; Keith, C. H. **The selective filtration of tobacco smoke**. Tobacco and tobacco smoke. Wynder, E.; Hoffmann, D. (Edts). Academic Press. p. 577-609, 1969.

GUERIN, M. R. **Chemical composition of cigarette smoke**. A safe cigarette: Banbury Report n. 3. Gori, G. B.; Bock, F. G. (Edts). Cold Spring Harbor. New York, p. 191-204, 1980.

Hoffmann, D.; Wynder, E.L. **In Tobacco: A major health hazard**. Zardidze, D.G.; Peto, R. (Edt). IARC Scientific Publications. Lyon, n. 74, p. 145, 1986.

Hoffmann, D.; Hoffmann, I. **Tobacco consumption and lung cancer**. In Lung cancer. Hansen, H. (Edt). Kluwer Academic. Boston, p. 42-45, 1995.

Hoffmann, D.; Hoffmann, I. **The Changing Cigarette, 1950-1995**. Journal of Toxicology and Environment Health. New York, p. 307-357, 1997.

INCA, Instituto Nacional do Câncer. **Número de fumantes no Brasil cai 30,7% nos últimos nove anos**. Disponível em: <http://www2.inca.gov.br/wps/wcm/connect/agencianoticias/site/home/noticias/2015/numero_fumantes_cai_30_virgula_sete_por_cento_em_nove_anos>. Acesso em: 10 Abril 2016.

International Organization for Standardization. **ISO 3308** – Routine analytical cigarette smoking machine: definitions and standard conditions. 2011.

International Organization for Standardization. **ISO 3402** – Tobacco and tobacco products: atmosphere for conditioning and testing. 1999.

International Organization for Standardization. **ISO 6565** – Tobacco and Tobacco products: Draw resistance of cigarettes and pressure drop of filter rods. 2002.

International Organization for Standardization. **ISO 8454** – Cigarettes: Determination of carbon monoxide in the vapour phase of cigarette smoke. 2007.

International Organization for Standardization. **ISO 10315** - Cigarettes: Determination of nicotine in smoke condensates. 2000.

International Organization for Standardization. **ISO 10362** - Cigarettes: Determination of water in smoke condensates. 1999.

Keith, C. H. **Modification of tobacco smoke**. In *The chemistry of tobacco and tobacco smoke*. Plenum Press. New York, p. 149, 1972.

Keith, C. H. **Physical mechanisms of smoke filtration**. In *Recent advances in tobacco science*. 32nd Tobacco Chemists Research Conference. Montreal, v. 4, p. 25, 1978.

Kiefer, J. E.; Touey, G. P. **Filtration of tobacco smoke particles**. In *Tobacco and tobacco smoke*. Academic Press. New York, p. 545, 1967.

John, L. P. *et al.* **Comparative Analysis of the Efficacy of Filters from Different Brands of Cigarettes**. 13th World Conference on Tobacco or Health. Washington, July 2006.

Lipp, G.; Van Nooy, H. **New methods for measuring the porosity of cigarette paper and the ventilation degree of the cigarettes**. *Beiträge zur Tabakforschung International*. Hamburg, v. 12, n.3, p. 369-384, 1962.

Norman, A. **Tobacco - Production, Chemistry and Technology**. Davies, D.L.; Nielsen, M.T. (Edts). Blackwell Publishing. Oxford, p. 353-387, 1999.

Norman, V. *et al.* **The Effect of Tip Dilution on the Filtration Efficiency of Upstream and Downstream Segments of Cigarette Filters**. *Beitriige zur Tabakforschung International*. v. 12, n. 4, p. 178–185, July. 1984.

PETERS, Gunther. *et al.* **The influence of cigarette design on the ageing of carbon filters**. CORESTA Smoke Science & Product Technology Meeting. South Korea, 30 September – 4 October, 2007.

PKS, Product Knowledge Seminar. Souza Cruz. Rio de Janeiro, 2006.

Rustemeyer, P. **Filter tow e acetato de celulose – O processo de produção da árvore até o consumidor**. Rhodia acetow AG: Freiburg, 1998.

Scherer, G. *et al.* **Influence of Smoking Charcoal Filter Tipped Cigarettes on Various Biomarkers of Exposure**. *Inhalation Toxicology*, v. 18, p. 821-29, Sept. 2006.

Schur, M. O.; Richards, J. C. **The design of low yield cigarettes**. *Tobacco Science*. v. 4, p. 69-77, 1960.

Selke, W. A. **Dilution of smoke through ventilation of filters.** Beiträge zur Tabakforschung International. Massachusetts, v. 9, n. 4, p. 190, 1978.

SINDITABACO. **Dimensões do Setor.** Disponível em:
<<http://sinditabaco.com.br/sobre-o-setor/dimensoes-do-setor/>>. Acesso em: 26 Março 2016.

SOUZA CRUZ¹. **Tabaco e seus produtos: Impacto e importância econômica.** Disponível em:
<http://www.souzacruz.com.br/group/sites/sou_7uvf24.nsf/vwPagesWebLive/DO7V9KFB?opendocument>. Acesso em: 26 Março 2016.

SOUZA CRUZ². **Tabaco e seus produtos: Cigarros.** Disponível em:
<http://www.souzacruz.com.br/group/sites/sou_7uvf24.nsf/vwPagesWebLive/DO7V9N43?opendocument>. Acesso em: 10 Abril 2016.

SRBINOSKA, M.; KIRKOVA, S. **Investigation on the influence of some physical characteristics of cigarettes upon smoke composition.** Scientific Tobacco Institute: Tobacco. Republic of Bulgaria, v. 60, n. 7-12, p. 127-133, 2010.

Stephens, W. E. **Dependence of tar, nicotine and carbon monoxide yields on physical parameters: implications for exposure, emissions control and monitoring.** Tobacco Control. v. 16, p. 170–176, 2006.

Taylor, M.J.; **The influence of cigarette filter design on the yield and composition of cigarette smoke.** Essentra Technology Centre. CORESTA Congress. Canada, Oct. 2014.

TOBACCO ATLAS. **Health Consequences.** Disponível em:
<<http://www.tobaccoatlas.org/topic/health-consequences/>>. Acesso em: 10 Abril 2016.

Wynder, E. L.; Hoffmann, D. **Tobacco and Tobacco Smoke: Studies in Experimental Carcinogenesis.** Academic Press. New York, p. 202–210, 1967.

ANEXOS

ANEXO A – Principais constituintes da fase vapor da fumaça principal de cigarros.

Componentes	Concentração por cigarro (% do efluente total)	Componentes	Concentração por cigarro (% do efluente total)
Nitrogênio	280-320 mg (56-64%)	Formiato de metila	20-30 µg
Oxigênio	50-70 mg (11-14%)	Outros ácidos voláteis (6) ^a	5-10 µg ^b
Dióxido de carbono	45-65 mg (9-13%)	Formaldeído	20-100 µg
Monóxido de carbono	14-23 mg (2,8-4,6%)	Acetaldeído	400-1400 µg
Água	7-12 mg (1,4-2,4%)	Acroleína	60-140 µg
Argônio	5 mg (1,0%)	Outros aldeídos voláteis	80-140 µg
Hidrogênio	0,5-1,0 mg	Acetona	100-650 µg
Amônia	10-130 µg	Outras cetonas voláteis	50-100 µg
NOX	100-600 µg	Metanol	80-180 µg
HCN	400-500 µg	Outros alcoóis voláteis (7) ^a	10-30 µg
H ₂ S	20-90 µg	Acetonitrila	100-150 µg
Metano	1,0-2,0 mg	Outras nitrilas voláteis	50-80 µg ^b
Outros alcanos voláteis	1,0-1,6 mg ^b	Furano	20-40 µg
Alcenos voláteis (16) ^a	0,4-0,5 mg	Outros furanos voláteis	45-125 µg ^b
Isopreno	0,2-0,4 mg	Piridina	20-200 µg
1,3-butadieno	25-40 µg	Picolinas (3) ^a	15-80 µg
Acetileno	20-35 µg	3-vinil-piridina	7-30 µg
Benzeno	6-70 µg	Outras piridinas (25) ^a	20-50 µg ^b
Tolueno	5-90 µg	Pirrol	0,1-10 µg
Estireno	10 µg	Pirrolidina	10-18 µg
Outros hidrocarbonetos aromáticos voláteis (29) ^a	15-30 µg	N-metil-pirrolidina	2,0-3,0 µg
Ácido fórmico	200-600 µg	Pirazinas voláteis (18) ^a	3,0-8,0 µg
Ácido acético	300-1700 µg	Metil-amina	4-10 µg
Ácido propiônico	100-300 µg	Outras aminas alifáticas	3-10 µg

^aOs parênteses indicam o número de compostos individuais em cada grupo. ^bEstimado.

Fonte: Adaptado de HOFFMANN e HOFFMANN (1997)

ANEXO B – Principais constituintes da fase particulada da fumaça principal de cigarros.

Componentes	Concentração por cigarro (% do efluente total)	Componentes	Concentração por cigarro (% do efluente total)
Nicotina	100-3000	Neofitadienos (4) ^a	200-350
Nornicotina	5-150	Limoneno	30-60
Anatabina	5-15	Outros terpenos (200-250) ^a	n.d. ^c
Anabasina	5-12	Ácido palmítico	100-150
Outros alcalóides (17) ^a	n.d. ^c	Ácido esteárico	50-75
Bipiridilas (4) ^a	10-30	Ácido oleico	40-110
n-hentriacontano (n-C ₃₁ H ₆₄)	100	Ácido linoleico	150-250
Hidrocarbonetos não-voláteis totais (45) ^a	300-400 ^b	Ácido linolênico	150-250
Naftaleno	2-4	Ácido láctico	60-80
Naftalenos (23) ^a	3-6 ^b	Indol	10-15
Fenantrenos (7) ^a	0,2-0,4 ^b	Escatol	12-16
Antracenos (5) ^a	0,05-0,1 ^b	Outros indóis (13) ^a	n.d. ^c
Fluorenos (7) ^a	0,6-1,0 ^b	Quinolininas (13) ^a	2-4
Pirenos (6) ^a	0,3-0,5 ^b	Quinolininas (7) ^a	n.d. ^c
Fluorantenos (5) ^a	0,3-0,45 ^b	Outros aza-arenos (55) ^a	200-300
Hidrocarbonetos poliaromáticos (11) ^a	0,1-0,25	Benzofuranos (4) ^a	n.d. ^c
Fenol	80-160	Outros compostos O- heterocíclicos (42) ^a	40-70
Outros fenóis (45) ^a	60-180 ^b	Estigmasterol	30-40
Catecol	200-400	Sitosterol	20-30
Outros catecóis (4) ^a	100-200 ^b	Campesterol	10-20
Outros dihidróxibenzenos (10) ^a	200-400 ^b	Anilina	0,36
Escolopetina	15-30	Toluidinas	0,23
Outros polifenóis (8) ^a	n.d. ^c	Outras aminas aromáticas	0,25
Ciclotenos (10) ^a	40-70 ^b	N-nitrosaminas específicas do tabaco (6) ^a	0,34-2,7
Quinonas (7) ^a	0,5	Glicerol	120
Solanesol	600-1000		

^aOs parênteses indicam o número de compostos individuais em cada grupo. ^bEstimado. ^cn.d.: não disponível

Fonte: Adaptado de HOFFMANN e HOFFMANN (1997)

ANEXO C – Resultados individuais – Ensaio de queda de pressão no filtro de cigarros (em mmH₂O)

Medição	Protótipo 1 3.0Y30000	Protótipo 2 2.5Y32000	Protótipo 3 2.1Y31000
1	66	73	79
2	66	69	77
3	61	70	79
4	63	68	76
5	68	73	79
6	63	68	77
7	64	66	76
8	65	73	72
9	71	69	72
10	68	76	75
Média	66	71	76
DP	2,95	3,10	2,62
CV (%)	4,5	4,4	3,4

DP = Desvio Padrão (amostra)

CV = Coeficiente de Variação

ANEXO D – Resultados: Composição dos teores de alcatrão, nicotina e monóxido de carbono na fumaça de cigarros

Protótipo 1 – 3.0Y30000

Replicata	Alcatrão (mg/cig)	Nicotina (mg/cig)	CO (mg/cig)	Nº Tragadas (trag./cig)
1	11,5	1,04	10,3	7,4
2	11,8	1,07	11,3	7,6
3	12,7	0,96	10,7	7,9
4	12,1	1,02	10,7	7,3
5	12,7	0,99	9,6	7,6
6	12,2	1,01	10,7	7,3
7	12,5	0,95	10,8	7,5
8	12,3	1,00	10,9	7,4
Média	12,2	1,01	10,6	7,5
DP	0,42	0,04	0,50	0,20
CV (%)	3,5	3,9	4,7	2,7

Protótipo 2 – 2.5Y32000

Replicata	Alcatrão (mg/cig)	Nicotina (mg/cig)	CO (mg/cig)	Nº Tragadas (trag./cig)
1	11,2	0,89	9,2	7,4
2	11,4	0,92	11,0	7,1
3	11,9	0,97	10,4	7,5
4	11,1	0,91	10,3	7,5
5	10,9	0,98	11,2	7,6
6	11,8	0,97	10,8	7,4
7	11,4	0,96	10,9	7,5
8	11,5	0,91	10,4	7,6
Média	11,4	0,94	10,5	7,5
DP	0,34	0,03	0,63	0,16
CV (%)	3,0	3,7	5,9	2,2

Protótipo 3 – 2.1Y31000

Replicata	Alcatrão (mg/cig)	Nicotina (mg/cig)	CO (mg/cig)	Nº Tragadas (trag./cig)
1	10,3	0,77	10,2	7,3
2	10,8	0,80	10,5	7,3
3	10,6	0,85	10,3	7,8
4	9,9	0,87	10,9	7,5
5	10,5	0,83	10,4	7,2
6	10,4	0,86	10,8	7,8
7	10,9	0,86	10,8	7,8
8	10,5	0,79	10,7	7,7
Média	10,5	0,83	10,6	7,6
DP	0,31	0,04	0,26	0,26
CV (%)	2,9	4,5	2,5	3,4

ANEXO E – Resultados: Eficiência de filtração do filtro de cigarros para o teor de nicotina na fumaça

Protótipo 1 – 3.0Y30000

Replicata	Nicotina no filtro (mg/cig)	Nicotina no cond. (mg/cig)	Eficiência de filtração (%)
1	0,56	1,04	35,0
2	0,61	1,07	36,3
3	0,58	0,96	37,7
4	0,55	1,02	35,0
5	0,61	0,99	38,1
6	0,53	1,01	34,4
7	0,55	0,95	36,7
8	0,59	1,00	37,1
Média	0,57	1,01	36,3
DP	0,03	0,04	1,36
CV (%)	5,2	3,9	3,8

Protótipo 2 – 2.5Y32000

Replicata	Nicotina no filtro (mg/cig)	Nicotina no cond. (mg/cig)	Eficiência de filtração (%)
1	0,60	0,89	40,3
2	0,61	0,92	39,9
3	0,65	0,97	40,1
4	0,55	0,91	37,7
5	0,65	0,98	39,9
6	0,65	0,97	40,1
7	0,60	0,96	38,5
8	0,59	0,91	39,3
Média	0,61	0,94	39,5
DP	0,04	0,03	0,92
CV (%)	5,8	3,7	2,3

Protótipo 3 – 2.1Y31000

Replicata	Nicotina no filtro (mg/cig)	Nicotina no cond. (mg/cig)	Eficiência de filtração (%)
1	0,64	0,77	45,4
2	0,63	0,80	44,1
3	0,67	0,85	44,1
4	0,66	0,87	43,1
5	0,69	0,83	45,4
6	0,65	0,86	43,0
7	0,66	0,86	43,4
8	0,68	0,79	46,3
Média	0,66	0,83	44,4
DP	0,02	0,04	1,22
CV (%)	3,0	4,5	2,8