UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ARTES, CIÊNCIAS E HUMANIDADES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TÊXTIL E MODA

MARIA CAROLINA GARCIA PEIXOTO SACCHI

**Estudo comparativo das propriedades físicas, químicas e de degradação de
um fio de poliamida 6.6 biodegradável e convencional**

São Paulo
2016

MARIA CAROLINA GARCIA PEIXOTO SACCHI

Estudo comparativo das propriedades físicas, químicas e de degradação de
um fio de poliamida 6.6 biodegradável e convencional

Versão corrigida

Dissertação apresentada à Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências do Programa de Pós-Graduação Têxtil e Moda.

Versão corrigida contendo as alterações solicitadas pela comissão julgadora em 21 de setembro de 2016. A versão original encontra-se em acervo reservado na Biblioteca da EACH/USP e na Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP (BDTD), de acordo com a Resolução CoPGr 6018, de 13 de outubro de 2011.

Área de Concentração:
Têxtil e Moda

Orientador: Prof. Dr. João Paulo Pereira
Marcicano

São Paulo
2016

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

CATALOGAÇÃO-NA-PUBLICAÇÃO

(Universidade de São Paulo. Escola de Artes, Ciências e Humanidades. Biblioteca)

Sacchi, Maria Carolina Garcia Peixoto

Estudo comparativo das propriedades físicas, químicas e de degradação de um fio de poliamida 6.6, biodegradável e convencional / Maria Carolina Garcia Peixoto Sacchi ; orientador, João Paulo Pereira Marcicano. – São Paulo, 2016
59 f. : il

Dissertação (Mestrado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Têxtil e Moda, Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, em 2016

Versão corrigida

1. Indústria têxtil. 2. Fios (Indústria têxtil). 3. Poliamida - Análise físico-química. 4. Sustentabilidade. I. Marcicano, João Paulo Pereira, orient. II. Título.

CDD 22.ed. – 677 .

Nome: Sacchi, Maria Carolina Garcia Peixoto

Título: Estudo comparativo das propriedades físicas, químicas e de degradação de um fio de poliamida 6.6 biodegradável e convencional

Dissertação apresentada à Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências do Programa de Pós-Graduação Têxtil e Moda.

Área de Concentração:
Têxtil e Moda

Aprovado em: ____/____/____

Banca Examinadora

Prof.Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof.Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof.Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

DEDICATÓRIA

Aos meus filhos, Bernardo e Benício.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre iluminar meu caminho.

Ao meu orientador, Professor Dr. João Paulo Marcicano, por todo apoio, orientação e auxílio que foram fundamentais no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Professor Fernando Barros de Vasconcelos, por toda sua disposição em ajudar e dar sugestões na definição do escopo desta pesquisa.

A Rhodia Poliamida e aos colegas de lá, por ter me disponibilizado tempo, amostras e ensaios necessários para realização deste trabalho.

Ao meu marido, que sempre me incentivou e não me deixou esmorecer nos momentos difíceis.

Aos meus pais, que me ensinaram e me incentivaram a correr atrás dos meus objetivos.

RESUMO

SACCHI, M. C. G. P. **Estudo comparativo das propriedades físicas, químicas e de degradação de um fio de poliamida 6.6 biodegradável e convencional.** 2016. 59f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016. Versão corrigida.

A pesquisa avalia comparativamente algumas propriedades físicas e químicas da poliamida 6.6 convencional e biodegradável. Avalia também o tempo de biodegradabilidade da amostra de fio biodegradável e convencional. As propriedades físicas analisadas foram de resistência, alongamento e tenacidade. Já as propriedades químicas foram relativas ao comportamento das amostras quanto ao tingimento e avaliações de solidez posteriores ao tingimento. As amostras avaliadas foram retiradas de malhas produzidas com fio de poliamida 80 dtex f68 x 2, normal e biodegradável, sendo purgadas, alvejadas e tintas. Os resultados das análises físicas, apesar de estatisticamente diferente, possuem os valores das médias muito próximos, o que na prática representam valores aceitáveis dentro do controle estatístico de processo. Ambas as amostras normal e biodegradável apresentaram mesmo comportamento químico, não havendo nenhuma diferença. Com relação ao tempo de biodegradabilidade, sob condições laboratoriais, o dióxido de carbono produzido pelas amostras foi monitorado e medido para determinar a porcentagem de biodegradação de acordo com a norma ASTM D 5511. O fio biodegradável apresenta um tempo de biodegradação 16 vezes mais rápido do que o fio de poliamida normal, tendo 81,7% de biodegradação após 735 dias de teste. Isto representa um ganho muito grande em termos ecológicos, tratando-se de uma fibra sintética.

Palavras-chaves: Biodegradação têxtil. Poliamida. Biodegradabilidade. Sustentabilidade

ABSTRACT

SACCHI, M. C. G. P. **Comparative study of the physical, chemical and degradation properties of a biodegradable and conventional polyamide yarn 6.6.** 2016. 59f. Dissertation (Master of Science) – School of Arts, Sciences and Humanities, University of São Paulo, São Paulo, 2016. Corrected version.

The study evaluates comparatively some physical and chemical properties of conventional and biodegradable polyamide 6.6. It also evaluates the period of biodegradation of the biodegradable and conventional yarn. The physical properties analyzed were strength, elongation and toughness. The chemical properties were related on the behavior of the samples in dyeing and evaluation of subsequent strength dyeing. The evaluated samples were taken from knitwear produced with polyamide yarn 80 dtex f68 x 2, normal and biodegradable, being purged, bleached and dyed. The results of the physical tests, although statistically different, have values very near the average, which in practice represent acceptable values within the statistical control process. Both normal and biodegradable samples had the same chemical behavior, and there is no difference. With respect to biodegradation time under laboratory conditions, the carbon dioxide produced by the samples was monitored and measured to determine the percentage of biodegradation according to ASTM D 5511. The biodegradable yarn has a biodegradation time 16 times faster the yarn normal polyamide, having 81.7% biodegradation after 735 days of testing. This is an expressive gain in ecological terms for a synthetic fiber.

Keywords: Textile biodegradation. Polyamide. Biodegradability. Sustainability

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema do planejamento dos ensaios.	17
Figura 2. Equação de formação da cadeira de poliamida 6.6.....	19
Figura 3. Fibras de poliamida com seção transversal (a) redonda, (b) trilobal, (c) quadrilobal e (d) oca.	20
Figura 4. Evolução mundial do consumo de fibras têxteis para vestuário, em milhões de toneladas.	22
Figura 5. Composição mundial do consumo de fibras têxteis para vestuário por tipo de fibra, em porcentagem.....	23
Figura 6. Avaliação Qualitativa Do Impacto Ambiental de Fibras Têxteis.....	27
Figura 7. Gráfico do Processo de Purga da Poliamida.	37
Figura 8. Gráfico do Processo de Alvejamento da Poliamida.....	38
Figura 9. Gráfico do Processo de Tingimento da Poliamida.....	39
Figura 10. Tecidos de resistência a luz 1 a 8.....	40
Figura 11. Esquema do teste de biodegradabilidade anaeróbia.....	42
Figura 12. Esquema do planejamento dos ensaios.	43
Figura 13. Gráfico Interval Plot da Resistência a Ruptura - Minitab.	44
Figura 14. Gráfico Interval Plot do Alongamento a Ruptura - Minitab.....	45
Figura 15. Gráfico Interval Plot da Tenacidade - Minitab.....	45
Figura 16. Gráfico do Teste de Biodegradação.	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características da fibra de poliamida.....	21
Tabela 2. Limites de especificação industrial do fio de poliamida 80 dtex f 68 x 2	46
Tabela 3. Comparação das propriedades mecânicas analisadas.....	47
Tabela 4. Resultado de solidez a luz nas malhas purgadas.	47
Tabela 5. Resultado de solidez a luz nas malhas alvejadas.....	48
Tabela 6. Resultado de solidez ao suor na malha normal tinta.	48
Tabela 7. Resultado de solidez ao suor na malha biodegradável tinta.	48
Tabela 8. Resultado de solidez a lavagem na malha normal tinta.	49
Tabela 9. Resultado de solidez a lavagem na malha biodegradável tinta.	49
Tabela 10. Porcentagem de Biodegradação.....	50

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	5
AGRADECIMENTOS.....	6
RESUMO	7
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABELAS.....	10
SUMÁRIO	11
1 Introdução	13
1.1 Considerações Iniciais	13
1.2 Objetivos	14
1.3 Justificativa.....	14
1.4 Perguntas e Hipóteses	15
1.5 Metodologia.....	16
1.5.1 Teste de Biodegradabilidade.....	16
1.5.2 Testes físicos e químicos.....	16
1.5.3 Planejamento dos ensaios	16
1.6 Organização	17
2 Revisão Bibliográfica	19
2.1 Poliamida.....	19
2.1.1 Poliamida 6.6	19
2.1.2 Fabricação	19
2.1.3 Morfologia da Poliamida.....	20
2.1.4 Características da Poliamida.....	21
2.2 Consumo de Fibras Têxteis.....	22
2.2.1 Consumo de fibras têxteis per capita	23
2.2.2 Consumo de fibras têxteis por país.....	24
2.3 Sustentabilidade.....	24
2.4 Sustentabilidade no Setor Têxtil.....	25
2.4.1 Têxtil e o Meio Ambiente.....	26
2.4.2 Gestão de Resíduos	28
2.4.3 Aspectos regulatórios que afetam o setor têxtil no Brasil.....	29
2.4.4 Classificação dos Resíduos na Indústria Têxtil	31

2.1	Biodegradação	32
2.1.1	Polímeros Biodegradáveis	33
2.1.2	Biodegradação das fibras sintéticas.....	33
2.1.3	Mecanismos de Biodegradação	33
2.1.4	Tipos de Biodegradação	34
2.1.5	Poliamida Biodegradável	35
3	Materiais e Métodos.....	36
3.1	Materiais.....	36
3.1.1	Amostras de malhas purgadas e alvejadas	36
3.1.2	Amostras de malhas tintas	38
3.2	Ensaio efetuados.....	39
3.2.1	Ensaio de Tração para Determinação da Carga de Ruptura, Alongamento de Ruptura, Tenacidade de Ruptura	39
3.2.2	Solidez de cor a luz.....	40
3.2.3	Solidez de cor ao suor	40
3.2.4	Solidez de cor a lavagem.....	41
3.2.5	Teste de biodegradabilidade.....	42
3.2.6	Software para análises estatísticas.....	43
3.3	Planejamento dos ensaios	43
4	Resultados e Discussão.....	44
4.1	Ensaio de Tração para Determinação da Carga de Ruptura, Alongamento de Ruptura, Tenacidade de Ruptura.....	44
4.2	Solidez de cor a luz	47
4.3	Solidez de cor ao Suor	48
4.4	Solidez de cor a lavagem	48
4.5	Teste de Biodegradabilidade.....	49
5	Conclusão	52
6	Referências.....	53
	APÊNDICE A – Testes de Resistência a Ruptura, Alongamento a Ruptura e Tenacidade para fios normal e biodegradável purgados.....	57
	APÊNDICE B – Teste-t para fios normal e biodegradável purgados	58
	APÊNDICE C – Testes de Resistência a Ruptura, Alongamento a Ruptura e Tenacidade para fios normal e biodegradável alvejados	59
	APÊNDICE D – Teste-t para fios normal e biodegradável alvejados.....	60

1 Introdução

1.1 Considerações Iniciais

Segundo Milan (2010), a preocupação com o meio ambiente atualmente está relacionada à qualidade de vida desta e de futuras gerações, o que torna a busca pelo desenvolvimento sustentável uma responsabilidade coletiva. A competição no mercado e a crescente mudança de perfil dos consumidores impulsionam as empresas a buscarem soluções e tecnologias com foco na redução de impactos ambientais negativos e na otimização dos processos produtivos, resultando em maior responsabilidade social e ecológica, produtos com valor agregado e competitividade.

O têxtil é um elemento indispensável da sociedade humana ao longo de sua história. Além da manutenção das necessidades básicas - proteger-se do ambiente externo e manter a condição necessária para a sobrevivência - o ser humano tem no uso de produtos têxteis, como forma de expressar a sua identidade, riqueza, poder e similares e tem sido uma importante mercadoria negociada globalmente ao longo dos séculos (TOJO et al, 2012).

A indústria têxtil mundial é considerada uma das maiores áreas industriais do planeta, movimenta mais de um trilhão de dólares só em vestuário e gera mais de 26,5 milhões de empregos diretos e indiretos. Mais de 25% da produção de roupas é sediada na China, no entanto, países como Alemanha e Itália também possuem grande importância na exportação de vestuário e os Estados Unidos na exportação de tecidos. Os preços de produtos têxteis vêm caindo, enquanto o volume de consumo e de negócios no setor vem aumentando; este fato se dá por conta do aumento do uso da fibra poliéster, de novas tecnologias e de políticas públicas que dão suporte à produtividade, em especial nos Estados Unidos e na China (BERLIM, 2009).

De acordo com Refosco (2012), a indústria têxtil transforma fibras em fios, fios em tecidos e tecidos em peças de vestuário, cama, mesa e banho e ainda têxteis técnicos para diversas aplicações. Ao analisarmos as indústrias por ramos de atuação, é evidente que a indústria têxtil, seguida por toda a cadeia do vestuário, não tem desenvolvido, proporcionalmente à sua expansão no mundo inteiro, a preocupação com os materiais e processos utilizados, causando assim, graves

consequências como o lixo têxtil e a quantidade exorbitante de resíduos provenientes do processo produtivo.

O consumo de produtos têxteis tem crescido ao longo do tempo. Segundo Food And Agriculture Organization Of The United Nations And International Cotton Advisory Committee [FAO e ICAC] (2013), o consumo de fibras têxteis per capita cresceu de 3,7 kg em 1950 para 11,0 kg em 2010. O aumento do consumo tem consequências, tanto em termos de aumento de fluxos de resíduos têxteis quanto em termos dos impactos ambientais relacionados com a produção, uso e gerenciamento do ciclo de vida final dos têxteis.

1.2 Objetivos

O objetivo geral do trabalho é comparar as propriedades físicas (alongamento, carga de ruptura e tenacidade) e químicas (solidez de cor a luz, solidez de cor a lavagem e solidez ao suor) do fio de poliamida 6.6 biodegradável com as da poliamida 6.6 convencional.

Para atender o objetivo geral os objetivos específicos são:

- Confeccionar malhas circulares em meia malha com Fio de Poliamida 6.6 texturizado 80 dtex f 68 x 2 convencional e com Fio de Poliamida 6.6 Biodegradável texturizado 80 dtex f 68 x 2;
- Executar o Teste de Biodegradabilidade para determinar o tempo de biodegradabilidade do fio de poliamida biodegradável comparado ao normal;
- Executar os Testes físicos e químicos em amostras purgadas e alvejadas simultaneamente para comparar as propriedades físicas e químicas do fio biodegradável com o fio normal de poliamida.

1.3 Justificativa

De acordo com Pekhtasheva (2012), as principais diferenças entre as fibras sintéticas, naturais e artificiais são na sua estrutura e o fato de que, sendo substratos de naturezas diferentes para os microorganismos, são menos facilmente danificadas por eles. Quando as fibras sintéticas foram introduzidas pela primeira vez na década

de 1950, foi sugerido que elas eram 'eternas' e não seriam degradadas por microorganismos. No entanto, verificou-se que com o tempo, em primeiro lugar, os microorganismos são de fato capazes de colonizar tecidos sintéticos e utilizam suas moléculas de carbono no curso de desenvolvimento (isto é, causando biodegradação), embora a uma taxa mais lenta do que as fibras naturais e artificiais e, segundo, que alguns tecidos sintéticos são mais resistentes do que outros para os microorganismos.

Segundo FAO e ICAC (2013), o único grupo de fibras têxteis que experimentou um aumento da procura para além dos níveis pré-crise foi o grupo das fibras sintéticas, a participação deste grupo no mercado expandiu-se de 55,5% em 2007 para 60,1% em 2010, em detrimento de todas as outras fibras.

Portanto, cada vez mais temos aumento de demanda por fibra sintética, no entanto a sua taxa de biodegradação é muito mais lenta comparativamente as fibras naturais e artificiais, o que consequentemente impacta diretamente o aumento da geração de resíduos têxteis no planeta.

Apesar de um número crescente de pesquisas que ressaltam a reciclabilidade dos têxteis, inclusive sobre sintéticos, há uma parcela destes têxteis que inevitavelmente irão para o lixo e seu destino será o aterro sanitário.

Por isso o tema biodegradabilidade em têxteis é de extrema importância e relevância. Até o momento de conclusão deste trabalho, não foi encontrado nenhum artigo científico sobre a poliamida 6.6 biodegradável. Portanto, o presente trabalho abordará de forma inédita um estudo sobre um fio têxtil de poliamida biodegradável.

1.4 Perguntas e Hipóteses

A primeira pergunta é se o fio de poliamida alcançará os resultados de biodegradabilidade? A hipótese é de que o fio alcançará os resultados de biodegradação. Pois em sua formulação foi adicionado um aditivo orgânico, que tem como objetivo acelerar o processo de biodegradação, após descarte em aterro sanitário.

A outra pergunta é se as características do fio biodegradável permanecerão iguais ao do fio de poliamida normal? A hipótese também é de que o fio biodegradável terá as mesmas características do fio de poliamida 6.6 normal. Pois o aditivo não modificará a estrutura da molécula da poliamida.

1.5 Metodologia

Foram confeccionadas malhas circulares com fio com título de 80 dtex de poliamida 6.6 biodegradável e de poliamida 6.6 normal.

Características dos fios:

- Fio de Poliamida 6.6, texturizado, título nominal 80 dtex f68 x2, seção transversal redonda, opaco;
- Fio de Poliamida 6.6 Biodegradável, texturizado, título nominal 80 dtex f68 x2, seção transversal redonda, opaco.

Malhas confeccionadas com os fios acima:

1. Meia malha 100% Poliamida 6.6 Normal;
2. Meia malha 100% Poliamida 6.6 Biodegradável.

As malhas foram purgadas, alvejadas e tintas antes de serem submetidas aos testes de tempo de biodegradabilidade e testes físicos e químicos.

1.5.1 Teste de Biodegradabilidade

Verificar o tempo de biodegradabilidade do fio de poliamida biodegradável.

1.5.2 Testes físicos e químicos

Para comparar se as propriedades físicas e químicas do fio biodegradável permanecem iguais ao do fio normal, serão avaliadas as seguintes propriedades:

- Título;
- Carga de ruptura;
- Alongamento a ruptura;
- Tenacidade a ruptura;
- Solidez de cor a luz;
- Solidez de cor à lavagem;
- Solidez ao suor ácido e alcalino.

1.5.3 Planejamento dos ensaios

O planejamento de ensaio das amostras ficou determinado de acordo com a figura 1.

Figura 1. Esquema do planejamento dos ensaios.

Fonte: Maria Carolina Garcia Peixoto Sacchi, 2015

1.6 Organização

O trabalho será dividido em 5 capítulos: Introdução, Revisão bibliográfica, Materiais e Métodos, Resultados e Discussão e Conclusão.

Capítulo 1: Introdução

Apresenta uma ideia geral do que será tratado no trabalho, objetivos, justificativa, pergunta e hipótese, além do plano de organização do trabalho.

Capítulo 2: Revisão Bibliográfica

Este capítulo incluirá:

- Revisão sobre Poliamida
- Sustentabilidade no segmento têxtil
- Biodegradabilidade em polímeros
- Mecanismos de Biodegradabilidade

Capítulo 3: Materiais e Métodos

Serão descritos em detalhe todos os materiais, equipamentos e ensaios utilizados no trabalho.

Capítulo 4: Resultados e Discussão dos Ensaio

Serão descritos e analisados todos os resultados obtidos.

Capítulo 5: Conclusões

São apresentadas as conclusões obtidas no trabalho, comparando-as com a hipótese inicial apresentada no capítulo de introdução.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Poliamida

Segundo Richards (2005), as fibras de poliamida são constituídas por macromoléculas lineares cujas unidades estão ligadas pelo grupo estrutural –NH–CO–. As unidades estruturais são essencialmente alifáticas e, por definição, menos de 85% das ligações amida podem ser ligadas a dois anéis aromáticos.

Uma variedade de poliamidas é atualmente fabricada e comercializada sob vários nomes comerciais diferentes. Entre eles, a poliamida 6 e a poliamida 6.6 são as duas poliamidas mais fabricadas (DEOPURA et al, 2008).

2.1.1 Poliamida 6.6

A poliamida 6.6 é produzida a partir da policondensação do hexametilenodiamina e do ácido adípico. A formação da poliamida 6.6 é mostrada na figura 2.

Figura 2. Equação de formação da cadeia de poliamida 6.6

Fonte: Richards, 2005

2.1.2 Fabricação

Na fabricação da poliamida 6.6 o hexametilenodiamina e o ácido adípico reagem juntos para formar o “sal nylon”, um composto muito estável e solúvel em água (aproximadamente 50-60% de solução do sal em água). O sal é transferido para um

evaporador e sua concentração aumenta para 80-85%. A solução concentrada vai para uma autoclave, sob atmosfera de nitrogênio, para iniciar a pré-condensação. A policondensação dura em torno de 4 horas, terminando a uma temperatura de 280°C. Este polímero passa para a formação de chips, e posteriormente esses chips são fundidos e filtrados, formando filamentos sólidos, devido à corrente de ar frio. Porém esses filamentos não possuem resistência alguma, pois as macromoléculas estão desorientadas, com disposição caótica. Com isso o último processo para obtenção dos filamentos é a estiragem, onde é feito o alongamento a frio, alonga-se cerca de 400 a 500% do comprimento inicial (RHODIA, 2000).

2.1.3 Morfologia da Poliamida

As fibras de poliamida podem ser extrudadas com uma variedade de formas transversais. O mais comum é a seção transversal redonda de uma forma circular, como mostra a figura 3 (a). No entanto, a forma transversal das fibras é um parâmetro importante em fibras de engenharia para aplicações específicas e podem apresentar variadas seções transversais conforme perfil das fieiras.

Figura 3. Fibras de poliamida com seção transversal (a) redonda, (b) trilobal, (c) quadrilobal e (d) oca.

Fonte: Richards, 2005

2.1.4 Características da Poliamida

Na tabela 1 são apresentadas as propriedades principais das fibras de poliamida. A classificação é relativa à outras fibras sintéticas. As condições de condicionamento são 21°C e 65% de umidade relativa.

Tabela 1. Características da fibra de poliamida

Propriedades	Classificação
Mecânica	
Tenacidade	Alta
Alongamento	Alta
Recuperação elástica	Alta
Flexibilidade	Alta
Resistência à abrasão	Alta
Rigidez	Média
Resiliência	Alta
Módulo inicial	Baixa
Absorção	
Regain	Média
Inchaço da seção transversal	Baixa
Calor de umidecimento	Média
Efeito nas propriedades mecânicas	Média
Absorção de óleo	Média
Térmica	
Resistência ao calor (durabilidade)	Média
Amolecimento	Média
Decomposição	Alta
Combustibilidade	Média
Químico	
Resistência aos alcalis	Alta
Resistência aos ácidos	Baixa
Resistência à solventes orgânicos	Alta
Resistência à agentes oxidantes	Baixa
Diversos	
Resistência à microorganismo	Alta
Resistência à traça	Alta
Resistividade elétrica	Alta
Densidade	Baixa
Resistência à luz UV	Baixa

Fonte: Autor “adaptado de” Hatch, 1993

2.2 Consumo de Fibras Têxteis

Segundo FAO e ICAC (2013), espelhando desenvolvimentos econômicos globais, após um pico em 2007 de 67,7 milhões de toneladas, o consumo de fibras têxteis diminuiu 4,3%, para 64,9 milhões de toneladas em 2008, como ilustra a figura 4. Em 2009, a demanda total de fibra têxtil aumentou 0,4%, para 65,1 milhões de toneladas. Em 2010, a demanda total de fibra têxtil aumentou em 4,6 milhões de toneladas para 69,7 milhões de toneladas. Este novo nível de consumo recorde superou o recorde anterior, em 2007, por 2,0 milhões de toneladas.

Figura 4. Evolução mundial do consumo de fibras têxteis para vestuário, em milhões de toneladas.

Fonte: FAO e ICAC, 2013

Na figura 5 é mostrado que o único grupo de fibras têxteis que experimentou um aumento da procura para além dos níveis pré-crise foi o grupo das fibras sintéticas, a participação deste grupo no mercado expandiu-se de 55,5% em 2007 para 60,1% em 2010, em detrimento de todas as outras fibras.

Figura 5. Composição mundial do consumo de fibras têxteis para vestuário por tipo de fibra, em porcentagem.

Fonte: FAO e ICAC. 2013

O principal motor da recuperação da demanda têxtil foi o grupo de fibra sintética (não-celulósico), que em 2008 experimentou a destruição da demanda de 938 mil toneladas, mas rapidamente recuperou todo o volume perdido e cresceu 314 mil toneladas em 2009, e expandiu ainda mais por 4 milhões toneladas em 2010. A demanda por fibras sintéticas, em 2010, ultrapassou o seu nível em 2007 por 4,3 milhões de toneladas (FAO e ICAC, 2013).

2.2.1 Consumo de fibras têxteis per capita

De acordo com FAO e ICAC (2013), após um pico de 11,1 kg em 2007, o consumo mundial de fibras têxteis per capita declinou para 10,5 kg em 2008 e 10,4 kg em 2009, recuperou parcialmente para 11,0 kg em 2010. A população dos países incluídos na pesquisa aumentou em 204 milhões de pessoas entre 2007 e 2010. O consumo per capita em 1950 era de 3,7 kg.

2.2.2 Consumo de fibras têxteis por país

Em 2007, os primeiros dez países consumidores de fibras para vestuário são responsáveis por 72% do consumo mundial. A lista (em ordem de diminuição do consumo) inclui China, Estados Unidos, Índia, Japão, Alemanha, Rússia, Paquistão, Itália, Reino Unido e Coreia do Sul. Em 2010, os primeiros dez países consumidores de fibras para vestuário representaram 73% do consumo mundial. A lista de 2010 manteve os mesmos rankings para os sete principais países em 2007, mas a Turquia e no Brasil subiram para as posições oitavo e nono, respectivamente, o Reino Unido mudou-se para a décima posição, e Itália e Coreia do Sul já não pertenciam na lista (FAO e ICAC, 2013).

2.3 Sustentabilidade

Segundo Mohamed e Antia (1998), o desenvolvimento sustentável foi definido por várias organizações como:

- (1) A Comissão Mundial de 1987 sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (WCED) definia desenvolvimento sustentável como:

"O desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades."

- (2) A Conferência de 1989 de Tóquio sobre conservação do meio global declarou que:

"O desenvolvimento sustentável exige uma revisão não só da estrutura convencional da economia, como o comércio, o investimento direto, o financiamento internacional e da ajuda oficial ao desenvolvimento, mas as políticas econômicas, financeiras e monetárias internas de cada país."

- (3) A Conferência do Rio de 1992 sobre Ambiente e Desenvolvimento afirmou, no Princípio n.º 3, que:

"O direito ao desenvolvimento deve ser exercido de modo a atender equitativamente as necessidades de desenvolvimento e ambientais das gerações presentes e futuras."

2.4 Sustentabilidade no Setor Têxtil

De acordo com a Confederação Nacional da Indústria. Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção [CNI e ABIT] (2012), a diversidade da indústria nacional e a disponibilidade de recursos naturais dão ao país excelentes oportunidades para se desenvolver de forma sustentável, combinando crescimento econômico, inclusão social e conservação ambiental. A emergência das preocupações com a sustentabilidade na agenda estratégica das empresas e dos governos é uma realidade. Para além de casos isolados de sucesso, as repercussões dessa atitude são sentidas em setores inteiros da economia. Avanços ainda são necessários, mas o caminho já está identificado e não há retorno possível.

O tema da sustentabilidade é vivido de forma diferenciada em cada um dos segmentos industriais. A constante busca da eficiência no uso de recursos e a necessidade de aumentar a competitividade industrial estão na pauta de todas as áreas. Incentivos à inovação e ao desenvolvimento científico e tecnológico são estratégicos para a transição a modelos mais sustentáveis de produção.

O setor têxtil e de confecção brasileiro tem destaque no cenário mundial, não apenas por seu profissionalismo, criatividade e tecnologia, mas também pelas dimensões de seu parque têxtil: é a quinta maior indústria têxtil do mundo e a quarta maior em confecção; o segundo maior produtor de denim e o terceiro na produção de malhas. Autossuficiente na produção de algodão, e com grandes investimentos na produção de fibras químicas, o Brasil produz 9,8 bilhões de peças confeccionadas ao ano (dessas, cerca de 6,5 bilhões em peças de vestuário), sendo referência mundial em beachwear, jeanswear e homewear. Outros segmentos também vêm ganhando mercado internacional, como a nossa moda feminina, masculina e infantil, além do fitness e moda íntima. Entre 2010 e 2011, foram investidos cerca de US\$ 5 bilhões pelas indústrias do setor (CNI e ABIT, 2012).

O compromisso da entidade com o setor têxtil e de confecção é criar uma base para o desenvolvimento sustentável, através de ações que preencham as lacunas que objetivam a integração e implementação entre os três pilares do desenvolvimento sustentável – o econômico, o social e o ambiental.

2.4.1 Têxtil e o Meio Ambiente

Segundo Slater (2000), a interação entre os materiais têxteis e do ambiente é complexo, tendo duas formas distintas. Existe, em primeiro lugar, o efeito de uma mudança nas propriedades do que o meio ambiente pode provocar na indústria têxtil, em geral classificadas como degradação. Em segundo lugar, há a maneira pela qual a produção ou a utilização de têxteis pode colidir com o meio ambiente, geralmente classificados sob o termo "poluição para o impacto negativo", mas incluindo também a proteção ambiental, redução da poluição, onde, por exemplo, um forro de aterro é usado para evitar a lixiviação. Uma outra necessidade é que para a produção de têxteis ser possível, utilizando os recursos disponíveis na terra sem esgotá-los insubstituivelmente. Cada um desses fatores é importante e deve ser considerado separadamente, a fim de construir uma visão completa de como os têxteis e do ambiente pode interferir um no outro.

Deve-se reconhecer que a produção e utilização de tecidos não são mais prejudiciais do que são qualquer outro material, e pode não ser tanto assim. Há, no entanto, maneiras pelas quais eles influenciam o planeta, e estes devem também ser considerados, são eles:

- Utilização de recursos renováveis
- Consumo de Energia
- Reciclagem
- Biodegradabilidade

Neste contexto, Vasconcelos (2008) compara as principais fibras utilizadas no mercado têxtil de acordo com as características ambientais. Os principais aspectos ambientais analisados foram: impactos na saúde e meio ambiente, consumo de energia e de água, utilização de recursos renováveis, durabilidade, biodegradabilidade e reciclagem, como é mostrado na figura 6.

Figura 6. Avaliação Qualitativa Do Impacto Ambiental de Fibras Têxteis.

Fonte: Vasconcelos, 2008

O autor ressalta que cada fibra estudada possui características e propriedades próprias que definem mercados específicos, não podendo ser avaliadas isoladamente de seu ciclo de vida. Vasconcelos analisa que, no caso das fibras naturais, como algodão, a atenção deve estar concentrada na minimização do uso de pesticidas, herbicidas adubos sintéticos, pois esses são responsáveis pelos maiores impactos ambientais de toda a cadeia.

Com relação às fibras artificiais, com exceção do Lyocel, o problema se concentra nas emissões de CS_2 e H_2S , devido ao custo das instalações de filtragem. Em relação à fibra de viscose, o autor avalia que o deslocamento da produção para os países em desenvolvimento, onde não há o mesmo rigor de países desenvolvidos quanto à observância de regulamentações ambientais, faz com que a mitigação de seus efeitos seja postergada em nível mundial. Devemos notar a avaliação feita para a fibra de viscose a partir do bambu. Na verdade, sua verdadeira contribuição ambiental resume-se às vantagens do cultivo do bambu em relação às outras fibras vegetais utilizadas para produzir viscose.

Quanto às fibras sintéticas, o autor menciona o fato de terem contra si serem produzidas a partir de fonte não renovável. Além de se fazer uso de um recurso não renovável, a utilização de derivados do petróleo introduz no ambiente cargas de CO_2 que não estavam na superfície, contribuindo para o aumento da massa disponível

desse gás causador de efeito estufa na atmosfera. O poliéster e a poliamida têm tido suas emissões poluentes minimizadas por sistemas de filtragem.

2.4.2 Gestão de Resíduos

Segundo dados de 2008 divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE], por meio da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB, 99,96% dos municípios brasileiros têm serviços de manejo de Resíduos Sólidos, mas 50,75% deles dispõem seus resíduos em vazadouros; 22,54% em aterros controlados; 27,68% em aterros sanitários. Esses mesmos dados apontam que 3,79% dos municípios têm unidade de compostagem de resíduos orgânicos; 11,56% têm unidade de triagem de resíduos recicláveis; e 0,61% têm unidade de tratamento por incineração. A prática desse descarte inadequado provoca sérias e danosas consequências à saúde pública e ao meio ambiente e associa-se a triste quadro socioeconômico de um grande número de famílias que, excluídas socialmente, sobrevivem dos lixões de onde retiram os materiais recicláveis que comercializam.

O quadro institucional atual também é negativo apesar de encontrar-se em fase de alteração. A maioria das Prefeituras Municipais ainda não dispõe de recursos técnicos e financeiros para solucionar os problemas ligados à gestão de resíduos sólidos.

2.4.2.1 Política Nacional de Resíduos Sólidos

Segundo a Lei nº 12.305/10, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) contém instrumentos importantes para permitir o avanço necessário ao País no enfrentamento dos principais problemas ambientais, sociais e econômicos decorrentes do manejo inadequado dos resíduos sólidos.

Prevê a prevenção e a redução na geração de resíduos, tendo como proposta a prática de hábitos de consumo sustentável e um conjunto de instrumentos para propiciar o aumento da reciclagem e da reutilização dos resíduos sólidos (aquilo que tem valor econômico e pode ser reciclado ou reaproveitado) e a destinação

ambientalmente adequada dos rejeitos (aquilo que não pode ser reciclado ou reutilizado).

Institui a responsabilidade compartilhada dos geradores de resíduos: dos fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, o cidadão e titulares de serviços de manejo dos resíduos sólidos urbanos na Logística Reversa dos resíduos e embalagens pós-consumo e pós-consumo.

Cria metas importantes que irão contribuir para a eliminação dos lixões e institui instrumentos de planejamento nos níveis nacional, estadual, microregional, intermunicipal e metropolitano e municipal; além de impor que os particulares elaborem seus Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos.

2.4.3 Aspectos regulatórios que afetam o setor têxtil no Brasil

O levantamento feito pelo CNI/ABIT (2012) mostra que a indústria têxtil e de confecção nacional está sujeita a sete Leis e Resoluções Federais relacionadas a práticas ambientais; são elas:

- Resolução Conama nº 357/2005 – Classificação dos corpos de água; condições e padrões de lançamentos de efluentes

Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.

- Lei nº 6.938/1981 – Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação

Objetiva a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar no país condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana.

Esta lei define a cadeia têxtil e de confecção como atividade potencialmente poluidora de grau médio e o objetivo é diminuir o impacto ambiental em até 10 anos pelos investimentos no setor com tecnologia moderna e sempre limpa.

- Lei nº 10.165/2000 – Implantação de taxas ligadas à Política Nacional do Meio Ambiente

A cadeia têxtil e de confecção é passível de taxação com índice médio de atividade potencialmente poluidora. O sujeito passivo da TCFA – Taxa de Controle e

Fiscalização Ambiental é obrigado a entregar, até o dia 31 de março de cada ano, relatório das atividades exercidas no ano anterior, para o fim de colaborar com os procedimentos de controle e fiscalização. “O descumprimento da providência sujeita o infrator a multa equivalente a vinte por cento da TCFA devida, sem prejuízo da exigência desta” (NR).

- Resolução Conama nº 313/2002 – Destino de resíduos sólidos industriais

Esta resolução disciplina a reciclagem e apresenta perspectiva muito positiva para o destino correto do lodo, inclusive existem projetos práticos nesse sentido, bem como para os retalhos têxteis provenientes da confecção.

- Lei nº 9.984/2000 – Política Nacional dos Recursos Hídricos e o Sistema de Gerenciamento

Esta lei representa para a cadeia têxtil o início das atividades da Agência Nacional de Águas- ANA e seu relacionamento com o Ministério do Meio Ambiente – MMA, advindo consequências diretas para a cadeia têxtil, como, por exemplo, a busca de indicadores do consumo da água nos diversos elos de produção do setor, bem como a sinalização para constante reavaliação dos mesmos visando à redução e ao reuso dos recursos hídricos.

- Lei nº 4.771/65 – Código Florestal

Uma nova lei está sendo discutida atualmente no Congresso Nacional e afeta o setor têxtil e de confecção principalmente em relação ao possível abastecimento de lenha e à localização de novas empresas em função da presença de cursos de água. A indústria têxtil foi responsável em 2010 pelo consumo de 300 mil toneladas de lenha. A lenha obtida de florestas plantadas e certificadas ainda é considerada uma importante fonte de energia para alimentação de caldeiras e representa 7% do consumo de fontes energéticas para o setor têxtil.

- Resolução Conama nº 237/1997 – Licenciamento ambiental incorporado aos instrumentos de gestão ambiental

Entre as atividades ou empreendimentos sujeitos ao licenciamento ambiental que afetam direta ou indiretamente a cadeia têxtil estão:

- Indústria química: fabricação de resinas e de fibras e fios artificiais e sintéticos.
- Indústria têxtil, de vestuário, calçados e artefatos de tecidos: beneficiamento de fibras têxteis, vegetais, de origem animal e sintético; fabricação e acabamento de fios e tecidos; tingimento e estamparia.

2.4.4 Classificação dos Resíduos na Indústria Têxtil

A geração de resíduos é um fenômeno inevitável que ocorre nas indústrias diariamente em volumes e composições que variam conforme seu segmento de atuação e nível produtivo. Denomina-se resíduo os restos ou as sobras provenientes de um processo produtivo, e que são considerados como inúteis, indesejáveis ou descartáveis. Podem se apresentar sob estado sólido, semi-sólido ou semi-líquido (JARDIM et al., 2000).

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR10.004/2004 (ABNT, 2004), Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

De acordo com o Centro Nacional de Tecnologias Limpas [CNTL] (2009), os resíduos têxteis são classificados como resíduos sólidos, de classe II A – não inertes, que podem apresentar propriedades tais como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água. Os resíduos têxteis podem ser reutilizados ou reciclados quase que em sua totalidade, desde que não sofram contaminações durante o processo fabril. Se contaminados, com óleo de máquina, por exemplo, passam a ser classificados como resíduos sólidos de classe I – perigoso, que são aqueles que apresentam riscos à saúde pública, provocando ou acentuando um aumento da mortalidade ou da incidência de doenças ou riscos ao meio ambiente, ainda mais quando o resíduo é manuseado ou destinado de forma inadequada. Estes resíduos podem apresentar uma das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade. Um retalho de tecido contaminado e descartado em um recipiente com resíduos limpos, contamina-os em sua totalidade, o que impede a reutilização e a reciclagem.

2.4.4.1 Os Resíduos Têxteis

A indústria têxtil possui um elevado potencial de geração de resíduos sólidos. Dentre as etapas de maior potencial de geração desses resíduos, estão as etapas de tecelagem e corte do tecido, gerando um montante significativo de pêlos, que são as sobras do processo de fiação do fio, as buchas que são as sobras dos fios no processo de tecelagem e os retalhos, que são gerados no corte (MOURA et al, 2005). Todos estes resíduos têxteis sólidos encontram mercado quando transformados em estopas, ou enchimentos para travesseiros, edredons, e bichos de pelúcia, entre outros materiais.

Segundo Berlim (2009), com relação aos resíduos sólidos têxteis domésticos, ou seja, aqueles gerados pela sociedade quando do descarte dos têxteis, não é comum encontrar pesquisas ou dados. Em geral, as pessoas doam lençóis, mantas, cobertores e toalhas usadas, assim como suas roupas, às instituições religiosas, às campanhas governamentais, a orfanatos, creches comunitárias, leprosários e asilos, e outros. Contudo, embora exista uma parcela destes têxteis domésticos que é descartado no lixo doméstico, não existem muitos dados que mensurem este resíduo têxtil.

2.1 Biodegradação

A degradação do material têxtil por microorganismos depende do tipo e origem das fibras têxteis, da sua taxa de desgaste, composição química, e das condições ambientais (por exemplo, temperatura, umidade, grau de aeração). O impacto de microorganismos em materiais têxteis provoca a sua degradação em duas formas principais: (a) a degradação direta em que os fungos e bactérias utilizam materiais têxteis como fonte nutriente (assimilação), e (b) a degradação indireta em que os materiais têxteis são danificados pelo metabolismo de microorganismos (degradação) (PEKHTASHEVA et al, 2012).

2.1.1 Polímeros Biodegradáveis

Biodegradação de polímeros é visto como uma das soluções para os problemas de gestão de resíduos atualmente. Por definição, os polímeros biodegradáveis são aqueles que são degradados em dióxido de carbono, água e biomassa, como resultado da ação de organismos vivos ou enzimas. A degradação de polímeros pode prosseguir por um ou mais mecanismos, incluindo a degradação microbiana em que microrganismos, tais como fungos e bactérias consomem o material. A taxa de biodegradação pode variar substancialmente e depende da estrutura molecular, a morfologia, a área de superfície, etc. (URSA et al, 2003).

2.1.2 Biodegradação das fibras sintéticas

De acordo com Pekhtasheva et al (2012), as principais diferenças entre as fibras sintéticas e naturais e artificiais são na sua estrutura e o fato de que, sendo substratos de naturezas diferentes para os microrganismos, são menos facilmente danificadas por eles. Quando as fibras sintéticas foram introduzidas pela primeira vez na década de 1950, foi sugerido que elas eram 'eternas' e não seria utilizadas por microrganismos. No entanto, verificou-se que com o tempo, em primeiro lugar, os microrganismos são de fato capazes de colonizar tecidos sintéticos e utilizam suas moléculas de carbono no curso de desenvolvimento (isto é, causando biodegradação), embora a uma taxa mais lenta do que as fibras naturais e artificiais e, segundo, que alguns tecidos sintéticos são mais resistentes do que outros para os microrganismos. Em contraste com fibras naturais, fibras sintéticas não têm microflora permanente e específica. Portanto, a espécie mais comum de microrganismos que demonstram a maior capacidade de adaptação a novos substratos são os principais biodegradadores destes materiais.

2.1.3 Mecanismos de Biodegradação

Segundo Karak (2012) a degradação dos polímeros pode ocorrer através de uma variedade de vias, incluindo a degradação microbiana, a fotodegradação, a

degradação química, degradação térmica e degradação mecânica. Os meios reais de degradação vão depender da estrutura de um polímero e a exposição externa que encontrar. Geralmente, os produtos biodegradáveis, tais como flores, frutas e vegetais, são gradualmente degradado em CO₂, água e biomassa sob a ação dos microrganismos que estão presentes no seu ambiente. No caso de polímeros biodegradáveis, a biodegradação ocorre em duas etapas principais.

No primeira etapa, os polímeros são fragmentados em produtos de baixo peso molecular oligoméricos, por meio de hidrólise direta, oxidação seguida por hidrólise, despolimerização, e assim por diante, na presença ou ausência de enzimas. Sem esta fragmentação dos polímeros, não é possível para eles se submeter a biodegradação. Isto porque a maioria dos polímeros são insolúveis em água e as moléculas de polímero são muito grandes. Os microrganismos são, portanto, incapazes de transportar esses materiais poliméricos diretamente nas suas células, onde a maioria dos processos bioquímicos acontecem. Em vez disso, eles primeiro excretam enzimas extracelulares, que despolimerizam os polímeros fora das células.

Na etapa final, os micróbios assimilam estes fragmentos nas paredes das células para utilização como nutrientes e, depois, convertê-los em dióxido de carbono, água, biomassa e minerais (ou metano no caso de degradação anaeróbica). As enzimas extracelulares são geralmente grandes para penetrar profundamente no polímero, de modo que a enzima atua apenas sobre a superfície do polímero. Assim, a biodegradação dos polímeros é geralmente um processo de erosão de superfície.

2.1.4 Tipos de Biodegradação

Em um sistema de polímero combinado as condições ambientais desempenham um papel crucial na determinação dos grupos dominantes de microrganismos e as vias bioquímicas degradativas. (Karak, 2012)

Ainda de acordo com Karak (2012), em condições aeróbicas quando o O₂ é prontamente disponível, os microrganismos aeróbios são principalmente responsáveis para a degradação de polímeros em biomassa microbiana, CO₂ e H₂O como produtos finais. Sob condições anaeróbicas, na ausência de O₂, microrganismos anaeróbios são responsáveis pela degradação do polímero e os produtos são biomassa microbiana, CO₂, CH₄ e H₂O sob condições metanogênicas.

Ambas as condições são encontradas em ambientes naturais, mas como condições aeróbicas são capazes de suportar uma grande população de microrganismos, é muito mais fácil a biodegradação em condições aeróbicas.

Como hidrólise ocorre na presença de água (ou um meio aquoso), polímeros hidrofílicos irão sofrer a biodegradação mais facilmente do que os polímeros hidrofóbicos análogos. No entanto, os polímeros hidrofóbicos podem hidrolisar após a sua oxidação, estejam presentes ou não as em condições aeróbicas. Assim, o principal requisito para a biodegradação do polímero é a presença de ligações enzimáticas, hidrolisáveis e / ou oxidativas na cadeia principal. O seguinte requisito mais importante é a presença de microrganismos capazes de produzir as enzimas específicas que são capazes de hidrolisar o polímero e seus fragmentos, respectivamente.

2.1.5 Poliamida Biodegradável

O fio de poliamida biodegradável estudado neste trabalho foi desenvolvido pela empresa Rhodia Poliamida, do Grupo Solvay. As informações disponibilizadas a respeito da composição deste fio é que em sua formulação foi adicionado um aditivo orgânico, que tem como objetivo acelerar o processo de biodegradação, após descarte em aterro sanitário.

3 Materiais e Métodos

3.1 Materiais

Para este estudo foram comparados fios de poliamida normal e fios de poliamida biodegradável, ambos com título nominal 80 dtex f 68 x 2, texturizados, opacos e com seção transversal redonda, produzidos pela empresa Rhodia Poliamida, que também cedeu o laboratório para realização dos testes, possibilitando a realização da pesquisa.

Com os fios foram produzidas amostras de meia malha 100% poliamida em máquina circular e que terão as seguintes identificações:

- Normal: malha 100% poliamida, confeccionada com fio 80 dtex f 68 x 2 normal;
- Biodegradável: malha 100% poliamida, confeccionada com fio 80 dtex f 68 x 2 biodegradável.

3.1.1 Amostras de malhas purgadas e alvejadas

Após a confecção das malhas, elas passaram por processos de Purga e de Purga + Alveamento, para verificar como o processo de alveamento pode influenciar nas amostras de malhas biodegradáveis e simular o uso industrial do fio.

3.1.1.1 Malhas Purgadas

As amostras que passaram por esse processo foram identificadas nos testes como 'purgadas'.

Produtos:

- 1,0 g/L - Ultralex NP 95 (detergente)
- 2,0 g/L - Carbonato de Sódio (álcali)

A curva de aquecimento do processo de purga é mostrada na figura 7.

Figura 7. Gráfico do Processo de Purga da Poliamida.

Fonte: Maria Carolina Garcia Peixoto Sacchi, 2015

Após o processo:

- Lavar durante 10 minutos
- Lavar neutralizando com ácido cítrico durante 10 minutos
- Lavar durante 10 minutos

3.1.1.2 Malhas Alvejadas

As amostras que passaram por esse processo foram identificadas nos testes como 'alvejadas'.

Antes de passarem pelo processo de alvejamento, as amostras deste processo foram purgadas, conforme processo descrito acima.

Produtos:

- 0,1 g/L – Ácido cítrico (a) – (meio ácido)
- 0,45% - Uvitex NFW 450% (b) - (alvejante ótico)

A curva de aquecimento do processo de alvejamento é mostrada na figura 8.

Figura 8. Gráfico do Processo de Alveamento da Poliamida.

Fonte: Maria Carolina Garcia Peixoto Sacchi, 2015

Após o processo:

- Lavar a fundo

3.1.2 Amostras de malhas tintas

As amostras de malhas tintas foram utilizadas para ensaio de biodegradabilidade e solidez de cor e foram identificadas nos testes como 'tintas'.

Produtos:

- 2,0% – Lyogen P (a) - (igualizante)
- 2,0 g/L - Sulfato de Amônio (a) - (doador ácido)
- 0,35% - Azul Astracid ASG 200% (b) - (corante ácido)

A curva de aquecimento do processo de tingimento é mostrada na figura 9.

Figura 9. Gráfico do Processo de Tingimento da Poliamida.

Fonte: Maria Carolina Garcia Peixoto Sacchi, 2015

Após o processo:

- Lavar a fundo

3.2 Ensaios efetuados

3.2.1 Ensaio de Tração para Determinação da Carga de Ruptura, Alongamento de Ruptura, Tenacidade de Ruptura

O ensaio foi realizado de acordo com a norma ABNT NBR 13385 – Fibra manufaturada – Determinação da carga e da ruptura de alongamento de ruptura. Os valores obtidos no ensaio são apresentados no apêndice.

O equipamento utilizado foi o dinamômetro de tração do tipo taxa constante de alongamento (CRE), contendo garras para fixação de fios e fibras no comprimento inicial requerido, fabricante Instron modelo 33R4205.

As amostras utilizadas neste ensaio foram as malhas purgadas e alvegadas.

3.2.2 Solidez de cor a luz

O ensaio foi realizado de acordo com a norma ABNT NBR ISO – 105 B02:1994.

O método deste ensaio consiste na exposição de uma amostra junto a uma série de padrões azuis de referência, tingidos com corante azul em diferentes graus de solidez. Se eventualmente a amostra comportar-se igual ao padrão azul, com referência de número quatro (04), sua solidez da cor é dita como sendo igual a quatro (04). Segundo a norma ABNT NBR ISO 105 B02 (2009), os padrões azuis, numerados de um a oito, são desenvolvidos e produzidos na Europa, sendo que o número um (01) indica solidez muito baixa, enquanto que o de número oito (08), uma solidez muito elevada. Além disso, cada número de referência indica uma solidez aproximadamente o dobro da anterior. A figura 10 mostra os padrões de referência para o ensaio de solidez de cor a luz.

Figura 10. Tecidos de resistência a luz 1 a 8.

Fonte: Labo Sistema, 2015

Junto à cartela com a amostra a ser analisada, é colocado no Xenotest padrão azul, para que permaneçam durante o mesmo período, submetidos à ação da luz e para que a posterior análise seja de total veracidade.

As amostras utilizadas neste ensaio foram as malhas purgadas e alvejadas.

3.2.3 Solidez de cor ao suor

O ensaio foi realizado de acordo com a norma NBR 8431. Esta norma prescreve o método para determinação da solidez da cor de materiais têxteis ao efeito do suor produzido pelo corpo humano.

Os corpos de prova, em dimensões padronizadas (10x4 cm), foram submersos em soluções que reproduzem as condições de suor ácido e alcalino. Foram medidas as alterações e transferências de cor por comparação com escala cinza. Utilizou-se os seguintes equipamentos:

- Aparelho perspirômetro
- Tecido testemunha
- Placa de vidro
- Estufa
- Escala Cinza

As amostras utilizadas neste ensaio foram as malhas tintas.

3.2.4 Solidez de cor a lavagem

Este ensaio foi realizado de acordo com a norma ABNT NBR 13097 - Materiais têxteis: Determinação da solidez de cor à ação de lavagem Ensaio nº 1.

A norma prescreve o método para determinação da resistência de cor de materiais têxteis submetidos à ação de lavagem em solução de sabão- padrão, à temperatura de 40°C.

Os corpos de prova da malha, em dimensões padronizadas (10x4 cm), foram costurados com tecidos testemunhas de mesmas dimensões, intercalando os corpos de prova entre os tecidos testemunhas.

Os corpos de prova são colocados em em recipiente contendo a solução de sabão-padrão, previamente aquecida (40 ± 2)°C, com relação de banho 1:50.

Avalia-se a alteração de transferência de cor conforme descritos nas normas NBR 8429 e NBR 8430.

Utilizou-se os seguintes equipamentos:

- Aparelho laboratorial lavador com eixo horizontal;
- Tecido testemunha de poliamida (primeiro) e de viscose (segundo);
- Escala cinza.

As amostras que realizaram este ensaio foram as malhas tintas.

3.2.5 Teste de biodegradabilidade

Neste ensaio foi realizado de acordo com a norma ASTM D5511 - Método de análise padrão para Determinar a Biodegradação Anaeróbica de Materiais Plásticos Sob condições de Digestão Anaeróbica com Alto Sólidos.

Esse método de análise consiste da seleção e análise de material para teste, obtendo-se um concentrado de inóculo anaeróbico a partir de um digestor anaeróbico de escala laboratorial, expondo o lote de materiais sob uma fermentação anaeróbica – estática a mais de 20% de sólidos, medindo-se o carbono total no gás (CO_2 e CH_4) gerado em função do tempo, e avaliar o grau de biodegradabilidade.

O percentual de biodegradabilidade é obtido através da determinação do percentual de carbono convertido, a partir do material em teste, em carbono na fase gasosa (CH_4 e CO_2). A figura 11 apresenta a montagem utilizada no ensaio.

Figura 11. Esquema do teste de biodegradabilidade anaeróbia.

Fonte: ASTM, 2002

Montagem do equipamento:

- 1 – Digestor
- 2 – Incubadora
- 3 – Saída de Gás
- 4 – Coletor de gás
- 4 – Válvula
- 6 – Amostragem de gás

7 – Descarga de gás

3.2.6 Software para análises estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas com o software MINITAB versão 17, da empresa Minitab Inc.

3.3 Planejamento dos ensaios

O planejamento dos ensaios ficou determinado de acordo com o esquema apresentado na figura 12.

Figura 12. Esquema do planejamento dos ensaios.

Fonte: Maria Carolina Garcia Peixoto Sacchi, 2015

4 Resultados e Discussão

4.1 Ensaio de Tração para Determinação da Carga de Ruptura, Alongamento de Ruptura, Tenacidade de Ruptura

A figura 13 mostra o gráfico do intervalo de confiança de 95% do valor da média da força de ruptura das amostras purgadas e alvejadas tecidas com fio normal e biodegradável.

Figura 13. Gráfico Interval Plot da Resistência a Ruptura - Minitab.

Fonte: Maria Carolina Garcia Peixoto Sacchi, 2015

A figura 14 mostra o gráfico do intervalo de confiança de 95% do valor da média do alongamento a ruptura das amostras purgadas e alvejadas tecidas com fio normal e biodegradável.

A figura 15 mostra o gráfico do intervalo de confiança de 95% do valor da média da tenacidade na ruptura das amostras purgadas e alvejadas tecidas com fio normal e biodegradável.

Figura 14. Gráfico Interval Plot do Alongamento a Ruptura - Minitab

Fonte: Maria Carolina Garcia Peixoto Sacchi, 2015

Figura 15. Gráfico Interval Plot da Tenacidade - Minitab.

Fonte: Maria Carolina Garcia Peixoto Sacchi, 2015

Pela análise dos gráficos de intervalo de confiança da média pode-se verificar que estatisticamente pode-se dizer com 95% de confiança que para a amostra alvejada os valores das médias da resistência e do alongamento apresentam diferença no valor entre fibra normal e biodegradável, e na amostra purgada os valores médios do alongamento e da tenacidade apresentam diferença de valor entre fibra normal e biodegradável. Os valores de média da fibra normal e biodegradável podem ser considerados estatisticamente iguais na resistência das amostras purgadas e na tenacidade das amostras alvejadas.

Apesar das diferenças estatísticas, para o controle de processo do fabricante, as diferenças verificadas não são significativas. Os valores de controle do fabricante são apresentados na tabela 2.

Tabela 2. Limites de especificação industrial do fio de poliamida 80 dtex f 68 x 2

Limites de especificação		
	Média	Tolerância para média
Alongamento(%)	24,0	4,0
Tenacidade (cN/tex)	> ou = 25,0	-

Fonte: Rhodia, 2015

Na tabela 3 são mostrados os valores médios das propriedades e a diminuição das mesmas após o alveamento. Verificou-se que há uma perda de propriedades mecânicas quando se compara as amostras purgadas e alvejadas. A diminuição é um pouco maior para o fio normal.

Tabela 3. Comparação das propriedades mecânicas analisadas.

Fio Normal			
	Resistência a Ruptura (N)	Alongamento a Ruptura (%)	Tenacidade (cN/tex)
Purgado	5,91	25,75	37,42
Alvejado	5,44	23,17	34,43
Perda	-9%	-11%	-9%
Fio Biodegradável			
	Resistência a Ruptura (N)	Alongamento a Ruptura (%)	Tenacidade (cN/tex)
Purgado	5,96	27,42	36,55
Alvejado	5,59	25,83	34,47
Perda	-7%	-6%	-6%

Fonte: Maria Carolina Garcia Peixoto Sacchi, 2015

Analisando-se os valores obtidos nos ensaios pode-se afirmar que a resistência a ruptura, tenacidade e alongamento do fio de poliamida biodegradável são similares ao do fio de poliamida normal. Devendo-se destacar que o fio biodegradável alvejado tem alongamento 11,5% superior ao do fio normal.

4.2 Solidez de cor a luz

Após processo de alveamento ocorre o amarelecimento das amostras, tanto para fio normal quanto para o fio biodegradável, conforme mostram os dados da Tabela 4 com as notas do teste de solidez a luz. Apesar do fio biodegradável apresentar um ponto a mais na nota (2), ambos os resultados, na prática, são ruins.

Tabela 4. Resultado de solidez a luz nas malhas purgadas.

Purgado	
Normal	Biodegradável
7	7

Fonte: Rhodia, 2014

Tabela 5. Resultado de solidez a luz nas malhas alvejadas.

Alvejado	
Normal	Biodegradável
1	2

Fonte: Rhodia, 2014

4.3 Solidez de cor ao Suor

Para ambos os fios, normal e biodegradável, o resultado de solidez ao suor apresentado nas tabelas 6 e 7 é exatamente o mesmo. As amostras apresentaram bons resultados de solidez ao suor, tanto alcalino, como ácido.

Tabela 6. Resultado de solidez ao suor na malha normal tinta.

Normal Tinto		
	TRANSFERÊNCIA	ALTERAÇÃO
SOLIDEZ AO SUOR ÁCIDO	5	5
SOLIDEZ AO SUOR ALCALINO	4/5	5

Fonte: Rhodia, 2014

Tabela 7. Resultado de solidez ao suor na malha biodegradável tinta.

Biodegradável Tinto		
	TRANSFERÊNCIA	ALTERAÇÃO
SOLIDEZ AO SUOR ÁCIDO	5	5
SOLIDEZ AO SUOR ALCALINO	4/5	5

Fonte: Rhodia, 2014

4.4 Solidez de cor a lavagem

Para ambos os fios, normal e biodegradável, o resultado de solidez a lavagem apresentado nas tabelas 8 e 9 foi exatamente o mesmo. As amostras apresentaram bons resultados de solidez a lavagem.

Tabela 8. Resultado de solidez a lavagem na malha normal tinta.

Normal Tinto		
	TRANSFERÊNCIA	ALTERAÇÃO
SOLIDEZ A LAVAGEM A 40° C ISO I	5	5

Fonte: Rhodia, 2014

Tabela 9. Resultado de solidez a lavagem na malha biodegradável tinta.

Biodegradável Tinto		
	TRANSFERÊNCIA	ALTERAÇÃO
SOLIDEZ A LAVAGEM A 40° C ISO I	5	5

Fonte: Rhodia, 2014

4.5 Teste de Biodegradabilidade

A figura 16 apresenta o gráfico de biodegradação das amostras com fio normal, fio biodegradável e controle.

Figura 16. Gráfico do Teste de Biodegradação.

Fonte: Rhodia, 2014

A tabela 10 mostra a porcentagem de biodegradação das amostras de fio normal e biodegradável. Os valores foram medidos após 735 dias de testes.

Tabela 10. Porcentagem de Biodegradação.

	Controle Negativo	Controle Positivo	Fio Normal	Fio Biodegradável
Porcentagem de Biodegradação (%)	- 2,4	87,3	4,5	71,3
Porcentagem Ajustada de Biodegradação (%)	- 2,8	100%	5,2	81,7

Fonte: Rhodia, 2014

Pela análise dos valores apresentados na tabela 10 pode-se afirmar que após 735 dias o fio biodegradável apresenta uma degradação significativamente maior que o fio normal.

5 Conclusão

O fio de poliamida biodegradável possui valor de tenacidade a ruptura, valor de alongamento a ruptura e valor da força de ruptura semelhantes ao do fio de poliamida normal.

As notas dos testes de solidez da cor a luz, ao suor e a lavagem das malhas tecidas com fio de poliamida biodegradável são muito semelhantes as notas dos testes de solidez das malhas tecidas com fio de poliamida normal.

O percentual de biodegradação após 735 dias do fio de poliamida biodegradável determinado no ensaio é de 81,7% e o percentual de biodegradação do fio de poliamida normal é 5,2%.

Dessa forma a pesquisa realizada demonstra que o fio de poliamida biodegradável apresenta alto índice de biodegradação mantendo as principais propriedades de resistência mecânica e de comportamento tintorial.

6 Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10.004: Resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ASTM D5511-02, Standard Test Method for Determining Anaerobic Biodegradation of Plastic Materials Under High-Solids Anaerobic-Digestion Conditions, 2002.

BERLIM, L. G. **Moda, a possibilidade da leveza sustentável**: tendências, surgimento de mercados justos e criadores responsáveis. Niterói: Universidade Federal Fluminense. Tese de Mestrado. 2009. Disponível em <<http://www.ecotece.org.br/media/biblioteca/arq24.pdf>>. Acesso em 05 de out. 2014

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA Nº 237/1997**. Regulamenta os aspectos de licenciamento ambiental estabelecidos na Política Nacional do Meio Ambiente. DOU nº 247, p. 30.841-30.843, 1997. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=237>>. Acesso em: 07 out. 2014

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA Nº 313/2002**. Dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais. Publicação DOU nº 226, p. 85-91, 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=335>>. Acesso em: 07 out. 2014.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA Nº 357/2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Publicação DOU nº 053, p. 58-63, 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 07 out. 2014.

BRASIL. **Lei 12.305**, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em 05 out. 2014.

_____. **Lei Nº 10.165**, de 27 de dezembro de 2000. Altera a Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus

fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília, 2000. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L10165.htm>. Acesso em 05 out. 2014.

_____. **Lei Nº 4.771**, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal. Brasília, 2000. Disponível em: <http://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/legislacao/federal/leis/1965_Lei_Fed_4771.pdf>. Acesso em 07 out. 2014.

_____. **Lei Nº 6.938**, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília, 1981. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm>. Acesso em 05 out. 2014.

_____. **Lei Nº 9.984**, de 17 de julho de 2000. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. Brasília, 2000. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9984.htm>. Acesso em 05 out. 2014.

Food And Agriculture Organization Of The United Nations And International Cotton Advisory Committee (FAO and ICAC) - **World Apparel Fiber Consumption Survey**. 2013. Disponível em: <https://www.icac.org/cotton_info/publications/statistics/world-apparel-survey/FAO-ICAC-Survey-2013-Update-and-2011-Text.pdf>. Acesso em 29 de jan. 2014

Confederação Nacional da Indústria. Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção (CNI e ABIT). **Têxtil e Confecção: Inovar, Desenvolver e Sustentar** / Confederação Nacional da Indústria Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção. – Brasília: CNI/ABIT, 2012. 74 p. (Cadernos setoriais Rio+20). Disponível em <<http://www.abit.org.br/adm/Arquivo/Service/114256.pdf>>. Acesso em: 14 nov. 2015.

Centro Nacional de Tecnologias Limpas (CNTL). Site institucional. Disponível em: www.senairs.org.br/cntl. Acessado em: 05 out. 2014.

DEOPURA, B. L. (Ed.) et al. **Polyamide Fibers**. In: _____. **Polyesters and polyamides**. Cambridge: CRC, 2008. cap. 2. p. 41-60.

HATCH, Kathryn L. **Textile science**. Minneapolis; New York: West, c1993. 472p.

SLATER, K. **Textiles and the environment**. School of Engineering, University of Guelph, Guelph, Ontario N1G 2W1, Canada. In HORROCKS, A.R. Anand, S.C.. Handbook of Technical Textiles. Woodhead Publishing. 2000. Cap. 19. P. 529-542. Disponível em <<http://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt003BMW54/handbook-technical-textiles/textiles-environment>>. Acesso em 5 set. 2015.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. 2008. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf>. Acesso em: 05 out. 2014

JARDIM, N. S. et al. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. 2. ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000.

KARAK, N. **Vegetable Oil-Based Polymers** - Properties, Processing and Applications. Woodhead Publishing. 2012. Disponível em: <<http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpVOBPPPA8/vegetable-oil-based-polymers>>. Acesso em: 16 jun. 2014.

MILAN, G. S., VITTORAZZI, C., REIS, Z. C., **A Redução de Resíduos Têxteis e de Impactos Ambientais**: Um Estudo Desenvolvido em uma Indústria de Confecções do Vestuário

MOHAMED, A. M.O. ANTIA, H. E., **Geoenvironmental Engineering** - Environmental Sustainability. Elsevier. 1998. Disponível em: <<http://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt004QNBA2/geoenvironmental-engineering/environmental-sustainability>>. Acesso em: 10 set. 2014.

MOURA, T. N; et al. **Intervenção da produção mais limpa nas indústrias têxteis do município de Jardim de Piranhas**. In: 23º Congresso Brasileiro De Engenharia Sanitária e Ambiental. Campo Grande, 18 - 23 set. 2005, p.1-12. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/III-062.pdf>>. Acesso em 04 mai. 2016.

PEKHTASHEVA, E. L., ZAIKOV, G. N., ANATOLY N., **Biodamage and Biodegradation of Polymeric Materials** - Biodamage to Synthetic Fibres. Smithers Rapra Technology. 2012. Disponível em: <<http://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00BC2Y0B/biodamage-biodegradation/biodamage-synthetic-fibres>>. Acessado em 29 jan. 2014.

RHODIA POLIAMIDA, **Sal Nylon**, material interno, não publicado. Santo André, 2000.

RHODIA POLIAMIDA, **Testes da Poliamida 6.6 Biodegradável**, material interno, não publicado. Santo André, 2014.

RHODIA POLIAMIDA, **Limites de Especificação de Produção**, material interno, não publicado. Santo André, 2015.

RICHARDS, A. F. **Nylon Fibers**. In: J. E. MCINTYRE. **Synthetic fibres: nylon, polyester, acrylic, polyolefin**. Textile Institute. Manchester, England: CRC Press, 2005. Cap. 2. p. 20-88.

TOJO, N. et al. **Prevention of Textile Waste**. Material flows of textiles in three Nordic countries and suggestions on policy instruments. 2012. Disponível em <http://nordicfashionassociation.com/sites/default/files/tn2012545_web.pdf>. Acessado em 27 de nov. 2014.

URSA, K., FRIEDRICH, J., KRZAN, A., **Polyamide 6 - Fibre Degradation By Lignolytic Fungus**, Polymer Degradation and Stability, p. 99-104, 2003.

VASCONCELOS, F. B., **Estudo comparativo das características ambientais das principais Fibras Têxteis**. Textília - Têxteis Interamericanos, v. ago/08, p. 35, 2008.

**APÊNDICE A – Testes de Resistência a Ruptura, Alongamento a Ruptura e
Tenacidade para fios normal e biodegradável purgados**

	Fio Normal Purgado		
	Resistência a Ruptura (N)	Alongamento a Ruptura (%)	Tenacidade (cN/tex)
1	5,96	26,67	37,70
2	5,86	26,67	37,13
3	6,10	26,67	38,61
4	5,83	25,00	36,89
5	5,77	25,00	36,54
6	5,82	25,00	36,86
7	5,98	25,83	37,86
8	5,90	25,00	37,33
9	6,14	26,67	38,84
10	5,76	25,00	36,47
média	5,91	25,75	37,42

Fonte: Rhodia, 2014

	Fio Biodegradável Purgado		
	Resistência a Ruptura (N)	Alongamento a Ruptura (%)	Tenacidade (cN/tex)
1	6,04	28,33	37,05
2	5,88	28,33	36,07
3	5,98	27,50	36,67
4	5,95	27,50	36,49
5	5,79	25,00	35,54
6	5,68	26,67	34,85
7	6,00	27,50	36,79
8	6,17	30,00	37,86
9	5,94	25,00	36,42
10	6,16	28,33	37,79
média	5,96	27,42	36,55

Fonte: Rhodia, 2014

APÊNDICE B – Teste-t para fios normal e biodegradável purgados

Resistência a Ruptura (N)	Purgado	
	<i>Normal</i>	<i>Biodegradável</i>
Média	5,91	5,96
Variância	0,016840489	0,022799344
Observações	10	10
Hipótese da diferença de média	0	
Gl	18	
Stat t	-0,729032309	
P(T<=t) uni-caudal	0,237680836	
t crítico uni-caudal	1,734063607	
P(T<=t) bi-caudal	0,475361673	
t crítico bi-caudal	2,10092204	

Alongamento a Ruptura (%)	Purgado	
	<i>Normal</i>	<i>Biodegradável</i>
Média	25,75	27,42
Variância	0,686012622	2,384759567
Observações	10	10
Hipótese da diferença de média	0	
Gl	14	
Stat t	-3,008054823	
P(T<=t) uni-caudal	0,004700108	
t crítico uni-caudal	1,761310136	
P(T<=t) bi-caudal	0,009400216	
t crítico bi-caudal	2,144786688	

Tenacidade (cN/tex)	Purgado	
	<i>Normal</i>	<i>Biodegradável</i>
Média	37,42	36,55
Variância	0,674101822	0,858640456
Observações	10	10
Hipótese da diferença de média	0	
Gl	18	
Stat t	2,21786564	
P(T<=t) uni-caudal	0,019834374	
t crítico uni-caudal	1,734063607	
P(T<=t) bi-caudal	0,039668748	
t crítico bi-caudal	2,10092204	

Fonte: Maria Carolina Garcia Peixoto Sacchi, 2015

**APÊNDICE C – Testes de Resistência a Ruptura, Alongamento a Ruptura e
Tenacidade para fios normal e biodegradável alvejados**

	Fio Normal Alvejado		
	Resistência a Ruptura (N)	Alongamento a Ruptura (%)	Tenacidade (cN/tex)
1	5,41	23,33	34,26
2	5,60	24,17	35,42
3	5,52	23,33	34,94
4	5,40	22,50	34,18
5	5,50	23,33	34,84
6	5,44	22,50	34,40
7	5,47	23,33	34,59
8	5,29	22,50	33,48
9	5,22	23,33	33,02
10	5,56	23,33	35,18
média	5,44	23,17	34,43

Fonte: Rhodia, 2014

	Normal		
	Resistência a Ruptura (N)	Alongamento a Ruptura (%)	Tenacidade (cN/tex)
1	5,57	25,83	34,36
2	5,55	25,83	34,26
3	5,67	26,67	34,99
4	5,62	25,00	34,66
5	5,47	25,00	33,79
6	5,61	25,83	34,62
7	5,59	25,83	34,53
8	5,63	26,67	34,74
9	5,57	25,83	34,39
10	5,58	25,83	34,42
média	5,59	25,83	34,47

Fonte: Rhodia, 2014

APÊNDICE D – Teste-t para fios normal e biodegradável alvejados

Resistência a Ruptura (N)	Alvejado	
	<i>Normal</i>	<i>Biodegradável</i>
Média	5,44	5,59
Variância	0,013788989	0,002719556
Observações	10	10
Hipótese da diferença de média	0	
Gl	12	
Stat t	-3,571190526	
P(T<=t) uni-caudal	0,001921987	
t crítico uni-caudal	1,782287556	
P(T<=t) bi-caudal	0,003843975	
t crítico bi-caudal	2,17881283	

Alongamento a Ruptura (%)		
	<i>Normal</i>	<i>Biodegradável</i>
Média	23,16643	25,833
Variância	0,27793716	0,308395111
Observações	10	10
Hipótese da diferença de média	0	
Gl	18	
Stat t	-11,01237748	
P(T<=t) uni-caudal	9,92637E-10	
t crítico uni-caudal	1,734063607	
P(T<=t) bi-caudal	1,98527E-09	
t crítico bi-caudal	2,10092204	

Fonte: Maria Carolina Garcia Peixoto Sacchi, 2015

Tenacidade (cN/tex)		
	<i>Normal</i>	<i>Biodegradável</i>
Média	34,4297	34,4749
Variância	0,551999122	0,103551433
Observações	10	10
Hipótese da diferença de média	0	
Gl	12	
Stat t	-0,176536837	
P(T<=t) uni-caudal	0,431408299	
t crítico uni-caudal	1,782287556	
P(T<=t) bi-caudal	0,862816598	
t crítico bi-caudal	2,17881283	

Fonte: Maria Carolina Garcia Peixoto Sacchi, 2015