

MESTRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE 2022/2023

CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DOS PROCESSOS DE ENOBRECIMENTO TÊXTIL

Sara Isabel Cardoso Dinis Mesquita

Dissertação submetida para obtenção do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA DO AMBIENTE

Desenvolvida no âmbito da unidade curricular de Dissertação
realizado em



Presidente do Júri:

Adrián Manuel Tavares da Silva, Professor Associado do Departamento de Engenharia
Química da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Orientador Académico:

Manuel Fernando Ribeiro Pereira, Professor Catedrático do Departamento de
Engenharia Química da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Coordenador na Empresa:

Ana Luísa da Cunha Gonçalves, Investigadora no Departamento de Tecnologia e
Engenharia do CITEVE

Porto, Junho de 2023

Esta dissertação foi desenvolvida no âmbito da Agenda Mobilizadora GIATEX - Gestão Inteligente da Água na ITV, projeto apoiado pelo PRR - Plano de Recuperação e Resiliência e pelos Fundos Europeus NextGeneration EU (<https://recuperarportugal.gov.pt/>).



REPÚBLICA
PORTUGUESA



Financiado pela
União Europeia
NextGenerationEU

Agradecimentos

Agradeço a toda a minha família, pai, mãe e irmã por todo o apoio, carinho e dedicação. Este trabalho é o culminar de um percurso académico que sem vocês nunca seria possível.

Ao meu namorado, um agradecimento muito especial pelo apoio, força, paciência e sentido de humor que me deu ao longo destes 5 anos.

À minha orientadora do CITEVE, a Doutora Ana Luísa Gonçalves, por toda a ajuda prestada durante o decorrer deste projeto, por todo o carinho, motivação e disponibilidade.

Ao meu orientador da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, o Professor Fernando Pereira, por toda a ajuda prestada durante o desenvolvimento do projeto.

Agradeço também a toda a equipa do Departamento de Tecnologia e Engenharia do CITEVE por ajudarem na minha integração e por toda a ajuda prestada durante a minha adaptação e por me proporcionarem esta oportunidade de aprendizagem.

A todos os meus amigos de longa data e aos que fiz ao longo do meu percurso académico, pela amizade e ajuda nos momentos em que mais precisei. Sem vocês, isto também não seria possível.

Muito obrigada.

Resumo

O presente relatório enquadra-se na realização de um estágio curricular, realizado no âmbito do Mestrado em Engenharia do Ambiente da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, e decorreu nas instalações do Centro Tecnológico das Indústrias Têxtil e do Vestuário (CITEVE), localizado em Vila Nova de Famalicão.

A globalização da Indústria Têxtil e do Vestuário (ITV), uma indústria conhecida pelo consumo intensivo de água, levou à utilização desmoderada deste recurso natural essencial e cada vez mais escasso, tendo impulsionado as empresas do setor a procurar e desenvolver tecnologias e processos que otimizem esse consumo, tornando a sua produção mais sustentável. O enobrecimento têxtil, correspondente às últimas fases da cadeia produtiva têxtil, está associado aos consumos mais significativos de água, sendo que envolve quatro etapas principais: tratamento prévio, tingimento, estamparia e acabamento. Ao mesmo tempo, estes processos são conhecidos pelo consumo intensivo de produtos químicos e pela produção de grandes volumes de águas residuais que contêm elevadas cargas de contaminantes. A redução do consumo de água, através de recirculação e reaproveitamento das águas do processo e recuperação ou minimização dos produtos químicos ao longo do processo produtivo, sem comprometimento da qualidade do produto acabado, constitui o maior desafio enfrentado pela ITV, em particular no subsetor do enobrecimento têxtil.

O principal objetivo deste estágio foi realizar uma caracterização ambiental dos processos de enobrecimento têxtil, relativamente ao consumo de água, produtos químicos e composição dos efluentes gerados, no sentido de avaliar potenciais medidas para redução do consumo de água (a implementar no âmbito do projeto Gestão Inteligente da Água na ITV – GIATEX, no qual se insere a presente Dissertação). Para isso, foi feita uma análise dos processos produtivos de 12 empresas do Setor Têxtil e do Vestuário (STV) com processos de enobrecimento têxtil, de forma a identificar as etapas do processo produtivo onde o consumo de recursos pode ser otimizado para obtenção de artigos têxteis com impactos ambientais reduzidos.

Concluiu-se que o tingimento de rama e fio apresenta um maior consumo específico de água, 150 L/kg, e que o tingimento de peça confeccionada apresenta um maior consumo específico de produtos químicos, 6 232 g/kg. Quanto aos efluentes gerados, verifica-se que estes apresentam uma composição semelhante à tipicamente reportada na literatura, sendo de destacar a sua baixa biodegradabilidade, resultante dos produtos utilizados nos processos de enobrecimento têxtil.

Palavras-chave: Água; Águas residuais; Enobrecimento têxtil; Indústria têxtil; Impacte ambiental; Produtos químicos

Abstract

This report is part of a curricular internship, carried out in the scope of the Master's in Environmental Engineering at the Faculty of Engineering of the University of Porto, and took place at the Technological Center of Textile and Clothing Industries (CITEVE), located in Vila Nova de Famalicão.

The globalization of the Textile and Apparel Industry, an industry known for its intensive consumption of water, has led to the excessive use of this essential and increasingly scarce natural resource, and has driven companies in the sector to seek and develop technologies and processes that optimize this consumption, making their production more sustainable. Textile enameling is one of the last stages of the textile production chain and is associated with the most significant water consumption, and involves four main steps: pre-treatment, dyeing, printing, and finishing. At the same time, these processes are known for their intensive consumption of chemicals and the production of large volumes of wastewater containing high loads of contaminants. The reduction of water consumption, through recirculation and reuse of process water and recovery or minimization of chemicals throughout the production process, without compromising the quality of the finished product, is the biggest challenge faced by this industry, particularly in the textile enameling sub-sector.

The main objective of this internship was to perform an environmental characterization of the textile finishing processes, concerning water consumption, chemicals, and composition of the generated effluents, to evaluate potential measures to reduce water consumption (to be implemented within the Intelligent Water Management project - GIATEX, of which this Dissertation is a part). For this, an analysis of the production processes of 12 companies in the textile and clothing sector with textile finishing processes was made to identify the stages of the production process where the consumption of resources can be optimized to obtain textile articles with reduced environmental impacts.

It was concluded that fibre and yarn dyeing is associated with a higher specific water consumption, 150 L/kg, and that the made-up garment dyeing presents a higher specific consumption of chemicals, 6 232 g/kg. In terms of composition of the generated effluents, the effluents from the studied companies present a composition like the ones typically reported in the literature, being noteworthy its low biodegradability, typical characteristic of the products used in the textile enameling processes.

Keywords: Chemicals; Environmental impact; Textile industry; Textiles finishing Wastewater; Water.

Índice

Agradecimentos.....	V
Resumo	vii
Abstract.....	ix
Índice	xi
Índice de Figuras	xiii
Índice de Tabelas	xv
Lista de Acrónimos	xvii
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento e apresentação do projeto GIATEX.....	1
1.2. Apresentação da entidade acolhedora	2
1.3. Objetivos da presente dissertação	3
2. Estado da Arte.....	5
2.1. STV em Portugal e no Mundo	5
2.2. A cadeia produtiva têxtil	6
2.2.1. Fibras têxteis	7
2.2.2. Fiação	7
2.2.3. Tecelagem e tricotagem.....	8
2.2.4. Enobrecimento	9
2.3. Etapas do processo de enobrecimento têxtil	10
2.3.1. Tratamento prévio	10
2.3.2. Tingimento e estamparia	14
2.3.3. Acabamento.....	21
2.4. Aspetos e impactos ambientais dos processos de enobrecimento têxtil	23
2.4.1. Consumo de água	23
2.4.2. Consumo de produtos químicos	25
2.4.3. Efluentes líquidos gerados.....	26
3. Metodologia.....	33
4. Resultados e Discussão	35

4.1. Produção global e consumo de água e produtos químicos nas empresas que constituem o consórcio	35
4.2. Consumo de água e produtos químicos por tipologia de processo de enobrecimento têxtil	44
4.2.1. Tingimento de rama e fio	45
4.2.2. Tingimento de fio e felpo	46
4.2.3. Tingimento de malha	47
4.2.4. Tingimento de tecido	49
4.2.5. Tingimento de peça confeccionada	51
4.2.6. Estamparia convencional	51
4.2.7. Estamparia digital	53
4.3. Parâmetros físico-químicos dos efluentes têxteis	56
5. Conclusões e sugestões de melhoria para redução dos impactos ambientais em processos de enobrecimento têxtil	59
5.1. Conclusões gerais	59
5.2. Sugestões de melhoria para redução do consumo de água e produtos químicos	61
6. Referências	63
Anexos	I

Índice de Figuras

Figura 1. Representação esquemática das principais etapas da cadeia produtiva têxtil [Adaptado de (Figueiredo et al., 2000)].	6
Figura 2. Representação esquemática das etapas mais representativas do processo de enobrecimento têxtil [Adaptado de (Figueiredo et al., 2000)].	9
Figura 3. Fibras têxteis tingidas (Alves, 2019).	15
Figura 4. Tingimento em fio (JFA, 2023).	16
Figura 5. Tingimento de estruturas têxteis em corda (A) e em aberto (B) (Cores&Tons, 2022; JH, 2023).	16
Figura 6. Métodos referentes aos processos de tingimento por impregnação [Adaptado de (Ferreira, 2019)].	18
Figura 7. Processo de estamparia convencional com cilindros (PETTENATI, 2023).	20
Figura 8. Processo de estamparia digital através de uma plotter (Emanuelli, 2015). ...	21
Figura 9. Quantidade de empresas que realiza cada processo de enobrecimento têxtil.	35
Figura 10. Quantidade de empresas que processam cada produto têxtil.	36
Figura 11. Quantidade total de produtos têxteis processados em cada empresa.	37
Figura 12. Quantidade de água consumida em cada empresa.	38
Figura 13. Quantidade de produtos químicos consumidos em cada empresa.	39
Figura 14. Representatividade dos produtos químicos utilizados na preparação ao tingimento.	40
Figura 15. Representatividade dos produtos químicos utilizados no tingimento.	41
Figura 16. Representatividade dos produtos químicos utilizados no acabamento.	42
Figura 17. Representatividade dos produtos químicos utilizados em estamparia convencional.	42
Figura 18. Representatividade dos produtos químicos utilizados em estamparia digital.	43
Figura 19. Consumo específico de água observado no tingimento de rama e fio.	45
Figura 20. Consumo específico de água observado no tingimento de fio e felpo.	46

Figura 21. Consumo específico de produtos químicos observado no tingimento de fio e felpo.....	47
Figura 22. Consumo específico de água observado no tingimento de malha.	48
Figura 23. Consumo específico de produtos químicos observado no tingimento de malha.	49
Figura 24. Consumo específico de água observado no tingimento de tecido.	50
Figura 25. Consumo específico água observado em estamparia convencional.....	52
Figura 26. Consumo específico de produtos químicos em estamparia convencional. ..	52
Figura 27. Consumo específico de água para empresas em estamparia digital.	53
Figura 28. Consumo específico de produtos químicos em estamparia digital.	54
Figura I.1. Relação entre o consumo de água (em m ³) e a quantidade de artigo têxtil processado (em kg).....	I
Figura I.2. Relação entre o consumo de produtos químicos (em kg) e a quantidade de artigo têxtil processado (em kg).....	I

Índice de Tabelas

Tabela 1. Principais diferenças entre o tingimento por impregnação e por esgotamento [Adaptado de (Salem, 2010)]	19
Tabela 2. Utilização de água nas empresas do STV com processos de enobrecimento têxtil [Adaptado de (CITEVE, 2012)]	24
Tabela 3. Consumo específico de água e taxa de reutilização/reciclagem de água por processo de enobrecimento têxtil [Adaptado de (Roth et al., 2023)]	24
Tabela 4. Consumo específico de produtos químicos nas empresas do STV com processos de enobrecimento têxtil [Adaptado de (CITEVE, 2012)]	25
Tabela 5. Volumes de efluentes líquidos gerados nas empresas do STV com processos de enobrecimento têxtil [Adaptado de (CITEVE, 2012)]	26
Tabela 6. Parâmetros físico-químicos a monitorizar para avaliação da qualidade dos efluentes têxteis resultantes dos processos de enobrecimento	28
Tabela 7. Parâmetros físico-químicos característicos dos efluentes líquidos descarregados em meio hídrico e em coletores	29
Tabela 8. Produção anual e consumos de água e produtos químicos observados no tingimento de malha	48
Tabela 9. Produção anual e consumos de água e produtos químicos observados no tingimento de tecido	50
Tabela 10. Consumos específicos de água e produtos químicos por tipologia de processo de enobrecimento têxtil	55
Tabela 11. Parâmetros de qualidade dos efluentes gerados pelas diferentes empresas relativos ao ano de 2021	56
Tabela 12. Valor médio dos parâmetros de qualidade dos efluentes gerados pelas diferentes empresas e comparação com as gamas de valores reportadas na literatura para estes parâmetros.....	56
Tabela I.1. Tipo de fibras processadas em cada empresa por processo de tingimento ..	II
Tabela I.2. Tipo de corantes/pigmentos aplicados em cada empresa nos processos de estamparia convencional e digital	II

Lista de Acrónimos

BAT	<i>Best Available Techniques</i>
CBO ₅	Carência Bioquímica de Oxigénio ao fim de 5 dias
CITEVE	Centro Tecnológico das Indústrias Têxtil e do Vestuário
CQO	Carência Química de Oxigénio
EPTAR	Estação de Pré-Tratamento de Água Residual
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETAR	Estação de Tratamento de Água Residual
GIATEX	Gestão Inteligente da Água na Indústria Têxtil e do Vestuário
GPL	Gás de Petróleo Liquefeito
ITV	Indústria Têxtil e do Vestuário
I&D	Investigação e Desenvolvimento
MTD	Melhores Técnicas Disponíveis
PME	Pequenas e Médias Empresas
SGA	Sistema de Gestão Ambiental
SST	Sólidos Suspensos Totais
STV	Setor Têxtil e do Vestuário
UE	União Europeia

1. Introdução

Nesta secção é apresentada a entidade acolhedora para a realização do trabalho, o Centro Tecnológico das Indústrias Têxtil e do Vestuário (CITEVE), e será feito o enquadramento do trabalho desenvolvido, o qual se insere no projeto GIATEX (Gestão Inteligente da Água na Indústria Têxtil e do Vestuário – ITV). São também apresentados os objetivos desta dissertação.

1.1. Enquadramento e apresentação do projeto GIATEX

No âmbito da unidade curricular de Dissertação do Mestrado em Engenharia do Ambiente (M.EA), realizou-se um estágio curricular no CITEVE, cujo tema foi a caracterização e estudo ambiental dos processos de enobrecimento têxtil relativamente ao consumo de água e produtos químicos. Foi um tema proposto no contexto do projeto GIATEX, Gestão Inteligente da Água na ITV, que teve início em outubro de 2022.

A ITV é umas das que gera efluentes mais poluentes, que necessitam de ser adequadamente tratados, e que mais água consome dentro das indústrias existentes, sendo isto causado maioritariamente pelos processos associados ao enobrecimento têxtil (Gümüş & Akbal, 2011; Pereira, 2015).

Apesar de ser um recurso essencial para a realização destes processos, o consumo excessivo de água acarreta problemas relacionados com a sustentabilidade e viabilidade económica das empresas do Setor Têxtil e do Vestuário (STV), pelo facto de ser um recurso considerado escasso, e ainda porque a utilização de elevadas quantidades de água contribui inevitavelmente para uma maior produção de águas residuais. Isto leva à necessidade de as empresas do subsector do enobrecimento têxtil alterarem e adaptarem os seus processos para garantir uma boa gestão deste recurso natural (CITEVE, 2022; CITEVE, 2023; Pereira, 2015).

Foi a pensar nos desafios relativos ao consumo excessivo de água nos processos de enobrecimento têxtil que surgiu o projeto GIATEX (sob coordenação técnica do CITEVE), no qual se insere este trabalho. O projeto GIATEX visa desenvolver um conjunto de ferramentas que permitam às empresas de enobrecimento têxtil diminuir o seu consumo específico de água, tais como a utilização de tecnologias de enobrecimento menos intensivas e a adoção de tecnologias de tratamento que permitam reutilizar água, e ainda apoiar na decisão sobre o destino final a dar às águas residuais pela integração de sistemas de monitorização e controlo no processo. Em suma, pretende-se operar junto das 12 empresas têxteis que integram o consórcio do projeto (representativas de diferentes tipologias e processos de enobrecimento), de forma a gerar um conjunto de soluções que permitam que estas façam uma gestão da água

eficiente e adequada aos processos que dispõem nas suas instalações. O trabalho desenvolvido no âmbito da presente dissertação insere-se na primeira fase do projeto GIATEX, que corresponde à caracterização detalhada do processo produtivo (no que diz respeito ao fluxo e composição da água) e à definição de medidas/estratégias a implementar para redução do consumo de água (CITEVE, 2022). Os processos de enobrecimento têxtil geram, para além de efluentes líquidos, emissões de poluentes sólidos e gasosos. No entanto, e tal como já foi referido, são as emissões de poluentes líquidos que causam as principais e mais preocupantes contaminações, e consequentes alterações no meio ambiente.

Assim, para além do interesse das ITV em reduzir o consumo de água nos seus processos (reduzindo consequentemente o volume de efluentes líquidos gerados), existe cada vez mais uma preocupação em minimizar também a poluição causada pelos seus processos tanto a nível das ETAR (Estação de Tratamento de Água Residual) como em cada etapa da cadeia produtiva (Freitas, 2002).

Estes efluentes líquidos são, regra geral, tóxicos e com baixa biodegradabilidade, devendo-se isto ao elevado conteúdo e diversidade de corantes, surfactantes/tensoativos e aditivos (normalmente compostos orgânicos complexos) resultantes dos processos da ITV. Posto isto, o tratamento prévio ao descarregamento no meio hídrico destes efluentes têxteis, em particular, é de extrema importância para minimizar os efeitos adversos no meio ambiente, já que os efluentes líquidos são inevitáveis para a viabilidade dos processos de enobrecimento deste setor (Correia et al., 1994; Ledakowicz & Gonera, 1999).

1.2. Apresentação da entidade acolhedora

O CITEVE tem sede em Vila Nova de Famalicão e delegações comerciais no Brasil, Tunísia, Argentina, Paquistão, Chile e México. Tem como missão apoiar o desenvolvimento das capacidades técnicas e tecnológicas deste tipo de indústrias pelo incentivo e difusão da inovação, promoção da melhoria da qualidade das empresas e respetivos produtos e suporte instrumental à definição de políticas industriais para este setor.

Trata-se de uma organização privada sem fins lucrativos que pretende proporcionar às empresas do STV um portefólio de serviços, nomeadamente ensaios laboratoriais, certificações de produtos, consultorias técnicas e tecnológicas, Investigação e Desenvolvimento (I&D), inovação, formação, e moda e design.

Esta organização encontra-se ativa desde 1989 e é uma referência a nível nacional e europeu para o STV. É participada por 630 empresas, na sua maioria PME situadas na região Norte de Portugal.

O CITEVE funciona, assim, como um prestador de serviços para as empresas e uma organização que apoia ativamente a promoção do conhecimento e da informação para o STV, posicionando-se estrategicamente entre universidades e empresas.

1.3. Objetivos da presente dissertação

Esta dissertação teve como objetivo fazer uma caracterização ambiental dos processos de enobrecimento têxtil, com especial destaque para o consumo de água, produtos químicos e composição dos efluentes gerados. Para isso, foi feita uma análise aos processos produtivos das 12 empresas que constituem o consórcio, tendo-se analisado as suas produções, consumo de água e produtos químicos e ainda a composição físico-química dos efluentes gerados. Esta análise foi feita com base em dados fornecidos pelas empresas, tendo-se considerado como ano de referência o ano de pré-projeto, 2021. O objetivo desta análise foi promover a caracterização destes processos antes da implementação das tecnologias a desenvolver no âmbito do projeto GIATEX e identificar as etapas do processo produtivo onde o consumo de recursos pode ser otimizado para obtenção de artigos têxteis com impactos ambientais reduzidos.

2. Estado da Arte

Neste capítulo apresenta-se uma contextualização do STV em Portugal e no mundo, bem como uma descrição da cadeia produtiva têxtil, com especial enfoque nos processos de enobrecimento têxtil e no consumo de água associado a estes processos.

2.1. STV em Portugal e no Mundo

O STV teve origem como atividade artesanal, acompanhou a revolução industrial, e chegou ao atual período de crescente concorrência internacional. É um setor que sofreu alterações ao longo dos anos, particularmente devido à globalização e à liberalização total do seu comércio. Em Portugal, trata-se de uma das indústrias mais antigas e tradicionais, sendo atualmente das poucas indústrias que contribui de forma positiva para a balança comercial portuguesa, daí a sua importância na economia nacional. Os desafios impostos pelos mercados, como a complexidade dos produtos, a sua curta duração e a exigência cada vez maior dos consumidores, tornam a concorrência entre as empresas do setor cada vez mais forte (Ferreira, 2021; Nogueira, 2016). A nível mundial, os artigos têxteis sustentáveis são cada vez mais procurados por parte dos consumidores, o que tem levado à procura de modelos de produção mais sustentáveis para este setor, essencialmente no que diz respeito ao consumo intensivo de recursos como a água, energia, produtos químicos, entre outros (Parisi et al., 2015).

Por estas razões, ao longo das últimas décadas, o STV teve de se adaptar e reinventar, apostando na investigação, inovação e desenvolvimento de novos produtos e no seu crescente reconhecimento internacional, havendo cada vez mais empresas do setor com departamentos de I&D de forma a acompanhar esta evolução.

A minimização do consumo de água nos processos da cadeia produtiva têxtil, sem comprometer o desempenho dos processos, é um dos vários desafios que este setor tem de enfrentar. A água, apesar de constituir um recurso natural indispensável para os processos produtivos do STV, também o é para a vida do ser humano. Com o crescimento populacional que se tem vindo a observar nos últimos anos, o que leva à urbanização das cidades, ao desenvolvimento industrial e tecnológico e à expansão das áreas agrícolas, a preocupação em preservar este recurso tem vindo a acentuar-se (Melo, 2005).

Neste setor, a água é utilizada como meio de transporte para os produtos químicos necessários para os processos ao longo da cadeia produtiva têxtil e para a remoção do excesso daqueles considerados como indesejáveis para o substrato têxtil. A maior parte da carga contaminante dos efluentes líquidos gerados está relacionada com impurezas ligadas às matérias-primas aplicadas ao logo dos processos, como produtos adicionados

para facilitar os processos de fiação e tecelagem e produtos químicos auxiliares e corantes eliminados durante as diferentes etapas dos processos de enobrecimento têxtil (Corrêa Jr. & Furlan, 2003).

2.2. A cadeia produtiva têxtil

Ao longo da cadeia produtiva têxtil são produzidos fios, tecidos ou malhas, e é ainda realizado o acabamento/enobrecimento das diferentes estruturas. Assim, a cadeia produtiva têxtil é constituída por cinco etapas principais: produção de fibras, fiação (produção de fios), tecelagem e tricotagem (produção de tecidos e malhas, respetivamente), e enobrecimento têxtil (que tipicamente inclui os processos de tinturaria, estamparia e acabamentos). A Figura 1 apresenta as etapas mais representativas da cadeia produtiva têxtil.

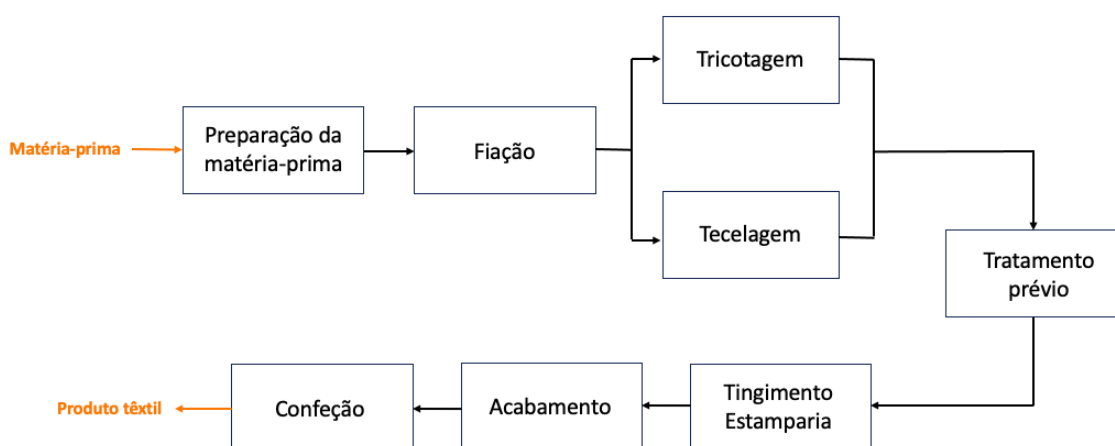


Figura 1. Representação esquemática das principais etapas da cadeia produtiva têxtil [Adaptado de (Figueiredo et al., 2000)].

Estas etapas são interdependentes, mas, por outro lado, relativamente independentes entre si, ou seja, o substrato têxtil resultante de uma determinada etapa de produção pode passar à seguinte independentemente da tecnologia de produção que foi utilizada, desde que se encontre nas condições necessárias para prosseguir. Isto permite que uma empresa possa estar especializada numa determinada fase do processo produtivo e servir como fornecedor de uma empresa especializada na fase seguinte. Porém, existem também empresas totalmente verticalizadas, nas quais todos os subsectores produtivos têxteis acabam por ser fornecedores para as indústrias de confeção e vestuário (Pereira, 2010).

As secções seguintes apresentam uma breve caracterização das principais etapas que constituem a cadeia produtiva têxtil. Contudo, será dada especial atenção aos processos de enobrecimento, uma vez que é nestes processos que ocorre o maior consumo de água.

2.2.1. Fibras têxteis

As fibras utilizadas para a produção de estruturas têxteis dividem-se em três grandes grupos: fibras sintéticas, fibras artificiais (ambas sendo categorizadas como fibras químicas) e fibras naturais (Pereira, 2010).

No caso das fibras sintéticas, estas são normalmente produzidas através de compostos derivados do petróleo, existindo dentro desta categoria fibras de poliamida, poliéster, elastano, polipropileno, entre outras (Pereira, 2010; Romero et al., 1995).

As fibras artificiais são produzidas a partir da celulose e, por esta razão, são também denominadas por fibras celulósicas. Esta corresponde a uma substância fibrosa que pode ser normalmente encontrada em pasta de madeira ou em línter de algodão, sendo um subproduto obtido a partir da planta de algodão, nomeadamente uma fibra curta que permanece na semente do algodão após o seu descaroçamento. Dentro deste grupo existem as fibras de viscose e de acetato.

Já as fibras naturais, tal como o nome indica, resultam de matérias-primas que se encontram na própria natureza, podendo ser classificadas de acordo com a sua origem em fibras minerais, vegetais e animais. Encontram-se dentro desta categoria, o algodão, o linho, a lã, a seda e a juta (Ferreira, 2021; Pereira, 2010).

2.2.2. Fiação

No processo de fiação, a matéria-prima utilizada é a fibra, com o prévio tratamento da mesma, resultando desta etapa o fio têxtil. O processo da fiação engloba várias fases, nomeadamente a abertura e separação das fibras, limpeza, paralelização parcial e nova limpeza, paralelização final, regularização, afinamento, torção, e, por último, a embalagem. O processo de fiação pode ser convencional ou não convencional, ou seja, pela fiação anel ou pela fiação a rotor/*open end*, respetivamente.

Assim, define-se o fio como um conjunto de fibras lineares (ou filamentos) que formam uma linha contínua com características têxteis como boa resistência e elevada flexibilidade. A principal característica deste é o seu diâmetro ou espessura, isto é, a relação de massa por unidade de comprimento, também denominada como o título do fio.

Desta forma, as características físicas das fibras utilizadas influenciam diretamente no processo de fiação a ser aplicado e definem características como qual o fio mais fino que pode ser produzido, ou seja, qual o fio com menor relação massa por unidade de comprimento (Pereira, 2010).

2.2.3. Tecelagem e tricotagem

Na fase seguinte à fiação, dá-se a tecelagem ou tricotagem, processos onde os fios previamente produzidos são convertidos em estruturas em tecido ou malha, respetivamente. Um tecido ou malha é então uma estrutura têxtil composta por fios, os quais podem ter origem em fibras naturais, artificiais ou sintéticas. Dependendo da forma como os fios estão organizados, obtém-se estruturas diferentes e com aplicação nas mais diversas áreas, como o vestuário, têxteis-lar, têxteis técnicos, entre outras (Pereira, 2010).

Um tecido é produzido quando se entrelaçam dois conjuntos de fios e estes se cruzam em ângulo reto. Aos fios que se encontram na horizontal (no sentido da largura do tecido), chama-se de fios de trama, e aos fios colocados na vertical (no sentido do comprimento do tecido), denomina-se de fios de teia. Existem ainda os fios de ourela, que correspondem aos fios que formam as bordas do tecido.

Uma malha é uma estrutura têxtil que consiste no entrelaçamento lateral, malhas de trama, ou vertical, malhas de teia, de fios na forma de laçadas ou malhas (Araújo & Melo, 1986).

2.2.3.1. Tecelagem

O produto final da tecelagem é o tecido que, após este processo, é classificado quanto à origem da matéria-prima utilizada, à forma de entrelaçamento dos fios, ao número de fios por centímetro quadrado e ao peso por metro quadrado.

Tal como no caso das fibras para a fiação, também os fios devem ser previamente preparados para o seu entrelaçamento nos teares, numa fase denominada de preparação à tecelagem (na qual também ocorre a encolagem, etapa descrita em maior detalhe na Secção 2.3.1.2.). Quanto ao processo de tecelagem propriamente dito, este ocorre nos teares e consiste na passagem de um ou vários fios de teia por cima ou por baixo dos fios de trama. Trata-se de um processo mecânico em que a matéria-prima utilizada são os fios resultantes da etapa anterior e que não necessita de água para a sua realização (Pereira, 2010).

2.2.3.2. Tricotagem

A tricotagem consiste no processo de conversão dos fios em estruturas em malha que, dependendo do tipo de tear em que são realizadas, podem classificar-se em malhas de teia e malhas de trama. Nas malhas de trama, um fio é suficiente para alimentar todas as agulhas do tear, sendo alimentado transversalmente ao comprimento da malha, e as agulhas podem trabalhar junta ou separadamente, dependendo do equipamento em utilização. Nas malhas de teia, cada agulha do tear deve ser alimentada por um fio de

teia, que são alimentados na direção do comprimento da malha, e as agulhas devem atuar sempre em conjunto. Tal como a tecelagem, trata-se de um processo mecânico que não utiliza água como recurso (Dias, 2009). Contudo, na preparação à tricotagem aplica-se, geralmente, um lubrificante (como a parafina) que permita diminuir o atrito.

2.2.4. Enobrecimento

O enobrecimento têxtil é o estágio final do processo de produção de estruturas têxteis e consiste na aplicação de tratamentos ou funcionalidades que melhoram as características físico-químicas, de aparência e de toque dos substratos têxteis que chegam ao início desta fase. Em contrapartida, as operações que constituem esta etapa são as mais poluentes e intensivas (sob o ponto de vista do consumo de água, produtos químicos e energia) de todos os processos da cadeia produtiva têxtil (Gomes et al., 2005; Jesus, 2011; Pereira, 2010).

A fase de enobrecimento têxtil é dividida em diferentes etapas, tratamento prévio, tingimento, estamparia e acabamento, as quais são apresentadas de forma esquemática na Figura 2 (Gomes et al., 2005).

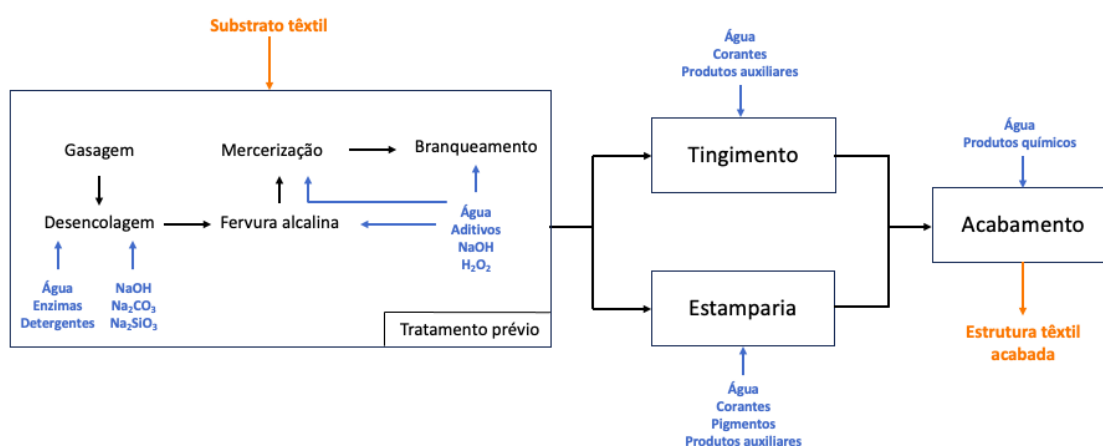


Figura 2. Representação esquemática das etapas mais representativas do processo de enobrecimento têxtil [Adaptado de (Figueiredo et al., 2000)].

O tratamento prévio consiste num conjunto de operações realizadas no sentido de garantir que o substrato têxtil apresenta condições para receber tingimento e acabamento final. As operações realizadas nesta etapa dependem da finalidade a que um determinado substrato têxtil está destinado.

As operações que têm como objetivo conferir cor total ou parcial ao substrato têxtil designam-se por tingimento e estamparia, respetivamente. Em outros termos, enquanto o tingimento pretende colorir o substrato têxtil de forma uniforme e em ambos os lados, a estamparia apenas tem como objetivo colorir o substrato têxtil de forma localizada (segundo desenhos específicos) numa das faces (Gomes et al., 2005; Pereira, 2010).

Quanto ao acabamento, este engloba um conjunto de operações que permite melhorar algumas características do substrato, dentro das quais o brilho, o toque e o aspeto físico, melhorias estas realizadas com o intuito de acrescentar valor aos produtos têxteis (Pereira, 2010).

As etapas que constituem o processo de enobrecimento têxtil e as respetivas operações serão apresentadas em maior detalhe nas secções seguintes. Contudo, será dada maior ênfase às etapas que utilizam mais água.

2.3. Etapas do processo de enobrecimento têxtil

2.3.1. Tratamento prévio

O tratamento prévio engloba cinco processos principais: gasagem, desengolagem, fervura alcalina, mercerização e branqueamento. Destes, os que utilizam mais água são a desengolagem, a mercerização e o branqueamento.

2.3.1.1. Gasagem

Esta operação física tem como objetivo a remoção, a partir da queima, de fibras que se encontram à superfície dos tecidos e malhas, assim como de pequenas impurezas que possam existir, melhorando a aparência e o toque das estruturas. Além disso, a realização desta operação permite que se obtenha uma maior eficiência nos processos subsequentes, principalmente no que diz respeito à estamparia. Sabe-se ainda que um artigo que tenha sido submetido a este processo acarreta menos sujidade aquando do seu uso e que tem menos tendência à formação de *pilling*, isto é, à formação de borbotos na superfície.

A aplicação deste processo varia de acordo com o tipo de estrutura têxtil, fibra e gramagem do artigo, podendo aplicar-se em apenas um ou em ambos os lados da estrutura e utilizar-se intensidades de chama diferentes. No caso das estruturas em lã ou em fibras sintéticas, esta operação não é realizada; já as estruturas em algodão passam por esta operação de forma a garantir o brilho necessário à estrutura, o qual se pode perder durante a fase de mercerização (ver Secção 2.3.1.4) caso não se realize esta etapa de gasagem (Pereira, 2010).

O processo de gasagem decorre nas gaseadeiras, que podem ser de três tipos diferentes: (i) gaseadeiras de placas aquecidas, tipicamente de cobre, curvas e espessas, através das quais a estrutura é aquecida através da combustão de gases ou resistências elétricas; (ii) gaseadeiras de cilindros, nas quais a estrutura passa por rolos aquecidos; e (iii) gaseadeiras por contacto direto, nas quais a estrutura passa diretamente pelas chamas, produzidas pela queima de combustíveis gasosos ou gaseificados em mistura

com o ar (neste equipamento, os mais utilizados são o gás natural e o gás de petróleo liquefeito – GPL). As gaseadeiras podem apresentar dois ou quatro queimadores (CEIQT, 2012).

Em todos os tipos de gaseadeiras, a temperatura atingida é apenas a temperatura necessária para que só as fibras que se encontram à superfície da estrutura entrem em combustão (Pereira, 2010).

Após a passagem pelas chamas, a estrutura deve entrar num sistema fechado no qual se cria uma atmosfera pobre em oxigénio através de vapor. Este passo tem como objetivo apagar qualquer incandescência residual que tenha sido formada (CETIQT, 2012).

2.3.1.2. Desencolagem

Esta operação consiste num pré-tratamento químico que elimina a goma ou cola – a qual pode ser do tipo natural, semi-sintética ou sintética – previamente aplicada aos tecidos durante a encolagem (Pereira, 2010). A encolagem é uma operação de preparação à tecelagem que consiste no revestimento dos fios que serão utilizados no tear com uma película de goma/cola elástica. Este processo promove a agregação das fibras (evitando o deslizamento entre elas) e a proteção dos fios das tensões exercidas durante o processo de tecelagem (evitando a perda de elasticidade), melhorando assim o rendimento do tear. Desta forma, é aumentada a rigidez e resistência dos fios durante a tecelagem (Castro, 2013; Pereira, 2010).

Após esse processo, torna-se necessária a etapa de desencolagem, uma vez que a presença da goma/cola utilizada pode impedir a boa penetração e afinidade dos aditivos utilizados nos processos de enobrecimento têxtil, comprometendo assim a sua eficiência.

Existem três tipos de desencolagem: (i) a desencolagem enzimática, que corresponde a um processo biológico para eliminação de goma de amido (goma natural) através da utilização de enzimas que promovem a quebra das cadeias do amido de modo a torná-lo solúvel (envolve temperaturas de 25 a 70 °C); (ii) a desencolagem por hidrólise ácida, que consiste num processo químico no qual são aplicados ácidos minerais para a eliminação de goma semi-sintética (envolve temperaturas de 20 a 50 °C); e (iii) a desencolagem oxidativa, que se trata de um processo químico no qual são realizados simultaneamente a desencolagem, a fervura alcalina e o branqueamento (envolve a utilização de peróxido de hidrogénio, hipoclorito de sódio ou clorito de sódio) e que tem como objetivo a eliminação da goma/cola e de impurezas que possam estar presentes no tecido. Os processos que constituem a desencolagem oxidativa são detalhados nas secções seguintes.

Embora o tipo de descolagem a aplicar dependa diretamente do tipo de goma/cola utilizado, todos eles envolvem a utilização de água quente ou vapor de água pressurizado.

2.3.1.3. Fervura alcalina

A fervura alcalina é um processo químico cujo principal objetivo é conferir hidrofiliabilidade suficiente aos substratos têxteis que chegam a esta etapa, isto é, aumentar a capacidade dos mesmos para absorver e reter água, para que possam prosseguir para as seguintes fases do enobrecimento têxtil.

A fervura alcalina pode também funcionar como um pré-branqueamento do substrato têxtil que, para além do supracitado, permite limpar as fibras que compõem o mesmo, removendo gorduras, ceras, resinas, óleos e outras impurezas, no caso das fibras naturais, e parafinas e óleos de ensimagem (incluídos durante os processos de fiação e tecelagem), no caso das fibras sintéticas (Pereira, 2010).

O processo envolve três formas de limpeza: (i) a emulsificação, eliminação de óleos e gorduras com o auxílio de produtos tensoativos (compostos químicos normalmente derivados do petróleo, constituídos por uma parte hidrofóbica e uma parte hidrofílica e que se caracterizam pelo seu poder de adsorção a superfícies e interfaces de outras moléculas), tornando-os solúveis em água; (ii) a saponificação, eliminação de impurezas como os óleos e gorduras pela sua conversão em sabão com o auxílio de hidróxido de sódio; (iii) a dissolução das impurezas solúveis em água através de água quente, que são assim eliminadas do substrato têxtil (Castro, 2013; Holmberg et al., 2002; Nitschke & Pastore, 2002; Pereira, 2010).

2.3.1.4. Mercerização

Este processo físico-químico tem como objetivo aumentar o brilho e, novamente, a absorção de água por parte do substrato têxtil, assim como de corantes, o que é particularmente relevante para uma boa eficácia do processo de tingimento, como será posteriormente observado. Em termos práticos, uma mercerização que não seja corretamente realizada irá resultar num tingimento irregular.

Além disso, este processo permite melhorar a resistência do substrato à tração, conferindo-lhe uma maior estabilidade dimensional e, consequentemente, um toque mais macio. Utiliza soluções alcalinas em condições de temperatura e concentração rigorosamente controladas e é aplicada a fios, tecidos e malhas de fibras celulósicas, sobretudo de algodão (Pereira, 2010).

Normalmente, o algodão é mercerizado a partir de soluções de soda cáustica (hidróxido de sódio), a qual reage com a celulose das fibras de algodão (Castro, 2013). Caso o algodão se encontre no estado cru, é necessário recorrer a aditivos auxiliares

como o álcool etílico, de modo a garantir que a mercerização ocorre de forma mais rápida e homogênea (Castro, 2013). Tanto durante como após a mercerização, o substrato deve manter-se sujeito a grande tensão para prevenir o encolhimento do mesmo, e impedir a quebra da celulose, garantindo que se obtém o resultado desejado do processo. Esta tensão deve ser aplicada de acordo com o tipo de algodão em tratamento: quanto mais percentagem de encolhimento este apresentar na ausência de tensão ao passar pela solução, mais tensão deve ser aplicada, e vice-versa (Castro, 2013; EUROLAB, 2023).

A mercerização de tecidos é realizada nas mercerizadeiras com corrente ou nas mercerizadeiras por rolos (sem corrente), sendo esta última a mais comumente utilizada (Castro, 2013). Quanto à mercerizadeira com corrente, esta mantém o tecido sob tensão através de um sistema de correntes que incluem pinças que prendem o tecido pelas orelas (EUROLAB, 2023). Nas mercerizadeiras por rolos, a tensão é provocada pela passagem do substrato em rolos de borracha e de ferro com velocidades variadas e com a tensão desejada. Durante este processo, o substrato passa por um recipiente que contém a soda cáustica e outros produtos auxiliares que sejam necessários (Castro, 2013; Pereira, 2010).

Antes de passar à próxima etapa, o substrato deve passar por uma lavagem em água quente e fria. Segue-se ainda uma neutralização com soluções ácidas. A lavagem tem como finalidade interromper o processo e, por conseguinte, eliminar a soda cáustica que foi anteriormente adicionada ao tecido (EUROLAB, 2023; Pereira, 2010).

2.3.1.5. Branqueamento

O branqueamento consiste num tratamento químico que tem como objetivo descolorar o substrato têxtil, ou seja, remover a sua coloração natural de forma a conferir ao substrato o grau de brancura pretendido sem que haja a danificação da fibra. As fibras naturais necessitam especialmente de serem submetidas a este tipo de tratamento, pois normalmente apresentam uma coloração amarelada e variável. É um tratamento que pode ser aplicado a diferentes estruturas têxteis, sejam elas rama, fios, tecidos ou malhas (Pereira, 2010; TESTEX, 2022).

Trata-se da adição de agentes químicos que, ao reagir com os pigmentos da fibra, promovem a sua descoloração. Para tal, os produtos mais utilizados são agentes oxidantes como é o caso do hipoclorito de sódio, do peróxido de hidrogénio e do clorito de sódio. No entanto, o branqueamento pode também ocorrer por redução química, através do hidrossulfito de sódio e do formaldeído sulfoxilado de sódio (Castro, 2013; Pereira, 2010; TESTEX, 2022).

Este processo aplica-se a estruturas têxteis que numa fase posterior estão destinadas a serem tingidas com cores claras, ou estampadas (Pereira, 2010).

A coloração que as estruturas têxteis apresentam quando chegam a esta fase pode ser de origem natural (com uma coloração amarelada) ou fruto dos processos a que foram submetidas ao longo da cadeia produtiva têxtil, como sujidade, poeira ou insetos associados aos processos de recolha e ainda óleos e gorduras associados aos equipamentos de tratamento. De qualquer das formas, ambos os tipos de coloração devem ser eliminados durante o processo de branqueamento (Castro, 2013; Barros, 2018).

2.3.2. Tingimento e estamparia

Após as etapas descritas, o substrato reúne as condições necessárias para iniciar as etapas seguintes, que correspondem ao tingimento e/ou estamparia. No caso dos tecidos e malhas, estes podem ser tingidos, estampados ou então podem passar por ambos os processos. No caso dos fios tintos e dos tecidos e malhas brancos, estes não necessitam de ser sujeitos a este tipo de processos.

Os produtos que conferem cor são os corantes e os pigmentos. Um corante, normalmente associado ao tingimento e à estamparia, trata-se de composto orgânico colorido altamente concentrado que se dissolve em água formando uma solução através da qual é absorvido e se difunde no interior da fibra. Os corantes são classificados quanto à sua composição química e método de aplicação, existindo os corantes ácidos, básicos, dispersos, diretos, reativos, entre outros.

Por outro lado, os pigmentos, normalmente associados ao processo de estamparia, são também compostos orgânicos, mas com a diferença de serem insolúveis em água e, por isso, são aplicados e fixados através de resinas sintéticas, funcionando estas como o ponto de ligação entre os próprios pigmentos e as fibras (Beltrame, 2000; Pereira, 2010).

2.3.2.1. Tingimento

Tal como referido anteriormente, o tingimento refere-se à coloração homogénea dos substratos têxteis em ambas as suas faces. Este processo físico-químico permite fixar os corantes às fibras e assim modificá-las de forma que a luz, ao refletir nas estruturas que se pretende colorir, cause a perceção de cor ao olho humano (Pereira, 2010).

Para tal ser possível, o processo de tingimento passa por três fases distintas: a migração, a absorção, e a difusão/fixação do corante. Inicialmente, o corante migra do meio em que está diluído para a superfície da fibra. Posto isto, existe o contacto do corante com a fibra, dando-se início à fase de absorção, que começa pelas camadas superficiais do substrato devido às forças intermoleculares e electroestáticas entre os iões. Quando o corante absorvido começa a difundir-se pelas camadas interiores da

fibra, pode ocorrer a sua fixação através de interações químicas como ligações iónicas, de hidrogénio, de Van Der Waals ou covalentes. O tipo de interação que acontece está dependente da natureza do material polimérico da fibra e também do tipo de corante utilizado (Pereira, 2010; TESTEX, 2021).

No final de todo o processo de tingimento, o substrato têxtil já tingido é submetido a uma ou várias lavagens para que seja retirado o corante que tenha ficado em excesso ou corantes hidrolisados, ou seja, para eliminar parte do corante que acabou por não ser fixado à fibra durante o processo (FENIX, 2023).

Os fatores que influenciam diretamente a eficiência do processo do tingimento e que por isso devem ser considerados são a afinidade entre o corante e a fibra a tingir, a estrutura química do corante, a estrutura da fibra, a temperatura e o tempo do processo de tingimento, os eletrólitos utilizados, o pH e concentração da solução/banho de tingimento, e ainda a utilização de produtos aceleradores ou retardantes (Ferreira, 2019).

A definição destes fatores depende da qualidade e tonalidade do tingimento que se pretende obter. Além disso, depende do tipo de estrutura que se está a processar uma vez que esta metodologia pode ser aplicada ao material têxtil na forma de fibra, fio, tecido, malha ou mesmo na forma de peça confeccionada (Gomes et al., 2005; Pereira, 2010).

No caso de tingimento em fibra, Figura 3, este é mais utilizado para fibras longas, como é o caso da lã, e para filamentos e permite obter artigos mesclados.



Figura 3. Fibras têxteis tingidas (Alves, 2019).

Quanto ao tingimento em fio, este é mais utilizado para a produção de tecidos de riscas ou xadrez e o tipo de processo em que é maioritariamente realizado é o tingimento em bobines, tal como se apresenta na Figura 4. Tem como vantagem permitir obter uma coloração com bastante qualidade, e como desvantagem ser um processo que necessita de um elevado nível de controlo em todas as suas etapas.



Figura 4. Tingimento em fio (JFA, 2023).

O tingimento de tecido e malha é dos processos mais utilizados devido às suas inúmeras vantagens: desperdiça menores quantidades de corante, envolve menos etapas e produz uma coloração mais uniforme em tecidos de cor lisa. Dependendo da estrutura, este processo pode realizar-se com a estrutura em corda (Figura 5.A), ocupando menos espaço e permitindo que a estrutura fique mais relaxada, ou em aberto (Figura 5.B), evitando a formação de vincos e permitindo a aplicação de um processo de tingimento em contínuo ou semi-contínuo (Pereira, 2010).

A



B



Figura 5. Tingimento de estruturas têxteis em corda (A) e em aberto (B) (Cores&Tons, 2022; JH, 2023).

Para além da aplicação de diferentes processos dependendo da estrutura têxtil, o processo de tingimento pode realizar-se em diferentes modos de operação nomeadamente em contínuo, semi-contínuo e descontínuo (Pereira, 2010).

2.3.2.1.1. Tingimento em contínuo

O tingimento em contínuo é o tipo de processo que se utiliza para produções de maiores volumes e metragem, tendo como vantagens a elevada produção e uma boa representação da cor pretendida e como desvantagem o facto de exigir elevado capital de investimento (Gomes et al., 2005; Pereira, 2010).

Os dois métodos contínuos mais utilizados são o *pad-dry* (ou *pad-termosol*) e o *pad-steam*, ambos incluídos na categoria de tingimento por impregnação ou *foulardagem*. Têm esta designação porque a solução com corante encontra-se num balseiro fixo (também designado por *foulard*) e o substrato têxtil passa de forma contínua pelo mesmo, sendo comprimido mecanicamente logo após a saída do *foulard* (através de cilindros rotativos que exercem determinada pressão). Posteriormente, o corante é fixado às fibras através de várias formas (repouso, vapor, um novo banho ou então calor a seco), ou seja, a solução é forçada a penetrar no interior do substrato através de banhos curtos e renováveis, seguindo-se a ativação dos produtos impregnados (Castro, 2013; Ferreira, 2019; Pereira, 2010).

Para além dos parâmetros importantes a ter em conta nos processos de tingimento em geral, nos processos em contínuo é importante considerar parâmetros adicionais como a velocidade de rotação dos cilindros, a pressão entre os cilindros, o *pick-up* (proporção de solução que permanece no substrato após a compressão) e a forma como o corante será fixado (Ferreira, 2019).

Os dois métodos em contínuo diferem entre si na forma como o corante é fixado à fibra. Enquanto no *pad-dry* (em português, impregnação-secagem), a estrutura têxtil após impregnação é submetida a uma secagem e fixação a quente (numa estufa com ventilação de ar ou cilindros aquecidos ou numa estufa com vapor) no *pad-steam* (em português, impregnação-vaporização), a estrutura têxtil é submetida a vapor húmido para a fixação do corante.

Os processos de tingimento em contínuo podem ser aplicados a estruturas em tecido e malha, sendo maioritariamente aplicados a estruturas em tecido (Gomes et al., 2005; Gomes).

2.3.2.1.2. Tingimento em semi-contínuo

O tingimento em semi-contínuo utiliza-se para produções de volume médio a elevado. Este processo diferencia-se dos processos em contínuo na medida em que a fixação/ativação dos produtos impregnados é realizada durante o repouso do tecido enrolado a temperatura ambiente e durante tempo variável (fase designada de maturação). Tem como vantagens o seu baixo custo associado, o baixo consumo de energia e água, uma boa reprodução da cor pretendida e a curta duração do processo.

Tal como os processos em contínuo, os processos em semi-contínuo entram na categoria dos processos realizados por impregnação ou *foulardagem*, sendo o método mais comumente aplicado o *pad-batch* (ou *cold-pad-batch*) (Pereira, 2010). Após a impregnação no *foulard* e passagem nos cilindros que comprimem a estrutura têxtil, este método envolve o enrolamento da estrutura em cavaletes, que são mantidos à temperatura ambiente durante algumas horas para que o corante tenha tempo de reagir, ou seja, difundir e fixar. Durante este período, o rolo de tecido ou malha deve rolar lentamente para que o corante não migre para o fundo do mesmo (o que seria de esperar devido à ação da gravidade). Como não necessita de fixação a elevadas temperaturas, este método é considerado um dos mais económicos para o tingimento, podendo ser aplicado a estruturas em tecido e em malha (Gomes; Pereira, 2010).

Caso os corantes reativos a utilizar não reajam a frio, o processo *pad-batch* não pode ser utilizado. Assim, utiliza-se uma variante deste processo, o *pad-roll*, em que o rolo de tecido na fase de maturação é aquecido num compartimento fechado (Gomes).

A Figura 6 apresenta de forma simplificada a forma como os processos contínuos e semi-contínuos se dividem enquanto métodos por impregnação.

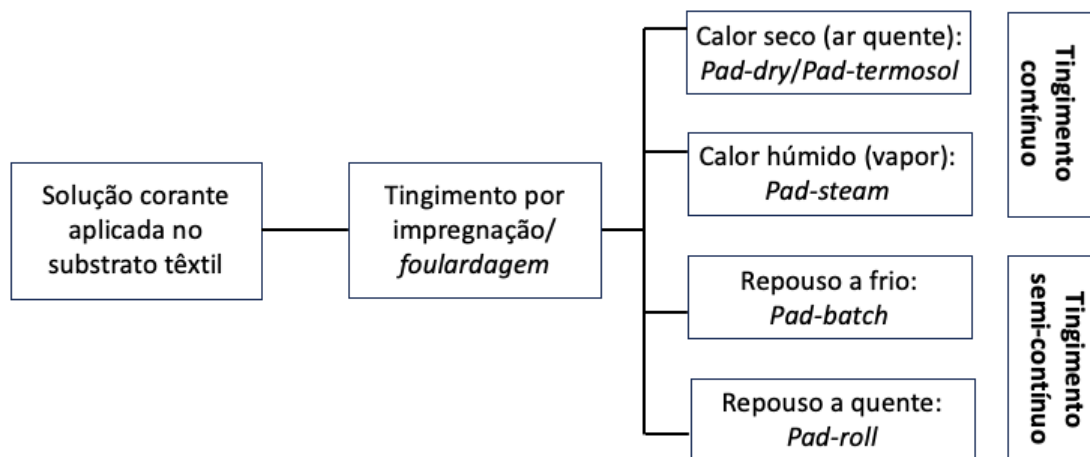


Figura 6. Métodos referentes aos processos de tingimento por impregnação [Adaptado de (Ferreira, 2019)].

2.3.2.1.3. Tingimento em descontínuo

Ao contrário dos processos anteriores, o mecanismo utilizado no tingimento em descontínuo é o esgotamento e não a impregnação. O esgotamento é um mecanismo químico em que há uma passagem do corante da solução para a superfície das fibras, seguido de absorção pelas regiões amorfas das mesmas e ainda a difusão do corante para o interior das fibras, finalizando com a fixação do corante no substrato têxtil sem a ação mecânica. Neste tipo de tingimento, a quantidade de corante utilizada é significativamente menor à que é utilizada nos tingimentos por impregnação (Ferreira, 2019).

Este processo é utilizado para lotes de menor metragem e produção. Contudo, num mesmo equipamento podem ser realizados os processos de tratamento prévio, branqueamento, tingimento e ainda as lavagens finais. Este tipo de processo tem como vantagens uma boa igualização da cor, a possibilidade de tingir vários tipos de estruturas têxteis (são utilizados para tingir rama, fio, tecido e malha) e o facto de utilizar equipamentos convencionais pouco especializados como o *Jet*, *Jigger* e o Autoclave. Como desvantagens, destaca-se o elevado consumo de água, produtos químicos e energia e ainda o facto de ser um processo mais moroso (Pereira, 2010).

Os equipamentos acima referidos são fechados, normalmente sob pressão, e cada um é utilizado para tingir diferentes estruturas. No caso do *Jet*, este é utilizado para tecidos, malhas e artigos em felpo, havendo a circulação do banho e do material têxtil no seu interior. O *Jigger* é utilizado para o tingimento de tecidos, pode ser aberto ou fechado e tem como princípio básico a circulação do tecido. O autoclave é utilizado para o tingimento de rama e fio, sendo as estruturas colocadas em cones ou bobines próprias pelas quais atravessa o banho de tingimento (Pereira, 2010).

Em resumo, a Tabela 1 apresenta de forma sucinta o que distingue os métodos de tingimento por impregnação dos métodos de tingimento por esgotamento.

Tabela 1. Principais diferenças entre o tingimento por impregnação e por esgotamento [Adaptado de (Salem, 2010)]

Impregnação	Esgotamento
• Sistema contínuo/semi-contínuo • Uso de força mecânica • Concentrações em g/L • O corante é pressionado contra a fibra e depois fixado • Conceitos de <i>Pick-up</i> (proporção de banho que permanece no substrato após compressão, calculado através das massas da amostra seca e húmida - pós processo)	• Sistema descontínuo • Mecanismo químico • Concentrações em % sobre o peso do material • O corante desloca-se do banho para a fibra (conceitos termodinâmicos, maior tempo de contacto entre o substrato têxtil e a solução corante)

2.3.2.2. Estamparia

Tal como descrito anteriormente, a estamparia corresponde ao processo de conferir cor a uma estrutura têxtil em tecido ou malha de forma localizada e apenas em um dos lados do substrato têxtil. Pode ser realizada de forma convencional ou digital, sendo que ao longo dos últimos anos tem sido cada vez mais utilizada a última.

2.3.2.2.1. Estamparia convencional

Este tipo de estamparia é o mais adequado no caso de produções de grandes quantidades, podendo ser realizado através de quadros planos ou cilindros rotativos que são microperfurados com os desenhos/padrões que se pretende obter (Figura 7). Inicialmente prepara-se a pasta que contém o corante. Esta pasta é colocada sob os quadros ou introduzida no interior dos cilindros e passa assim para o substrato têxtil. Posteriormente, é necessária uma etapa de secagem e fixação (DELTA, 2023). A utilização desta tecnologia implica a gravação de quadros e cilindros especificamente para cada desenho ou padrão, daí a utilização desta técnica para lotes reduzidos apresentar custos elevados. Para além desta técnica, existem outras ainda associadas a estamparia convencional, nomeadamente a sublimação, que funciona através da aplicação de calor e pressão (AUDACES, 2023; Monserrat, 2015).

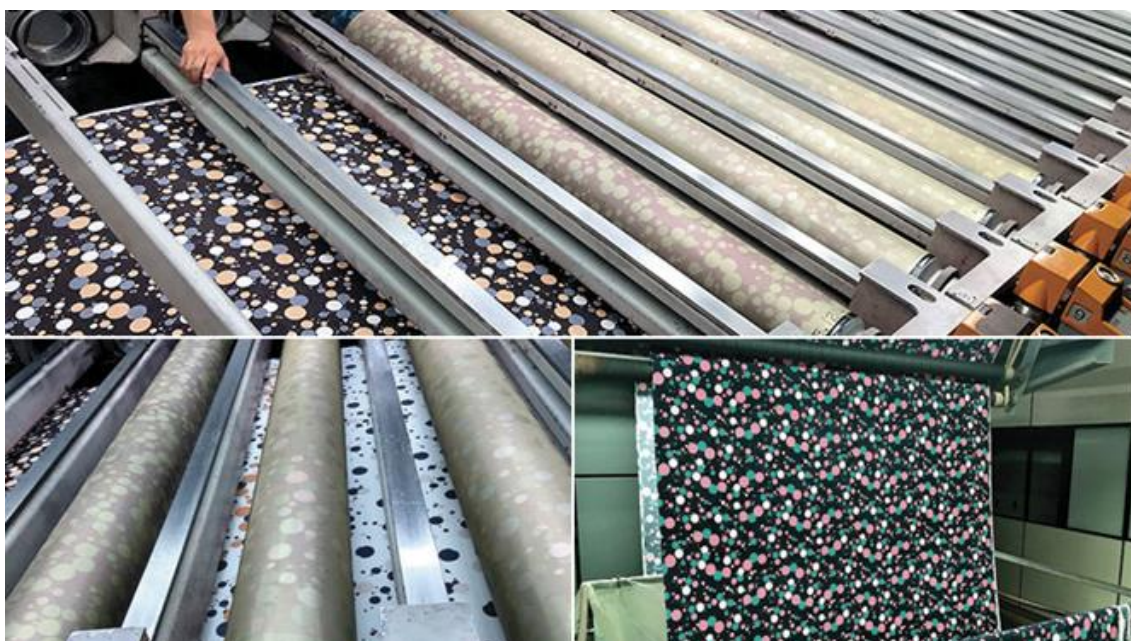


Figura 7. Processo de estamparia convencional com cilindros (PETTENATI, 2023).

Existe um elevado consumo de produtos químicos, água e energia associado a esta técnica. Além disso, os resíduos gerados pela estamparia convencional contaminam os recursos naturais com muita facilidade (DELTA, 2023).

2.3.2.2.2. Estamparia digital

A estamparia digital acaba por ser um método mais sustentável e económico do que o anterior uma vez que é uma tecnologia que permite estampar diretamente um padrão na superfície do material têxtil (semelhante à impressão em papel) através de impressoras dos mais variados tipos, por exemplo *plotters* (Figura 8). Esta tecnologia permite reduzir ou mesmo eliminar algumas das etapas e recursos que são essenciais

na estamparia convencional, tais como os laboratórios de pigmentação, o consumo de água, *stocks* de produtos, consumo energético, entre outros.



Figura 8. Processo de estamparia digital através de uma *plotter* (Emanuelli, 2015).

Deste modo, os resíduos gerados pela estamparia digital são tintas à base de água e sem a presença de compostos químicos pesados, o que facilita o seu descarte e contribui para uma menor poluição do meio ambiente para onde são encaminhados. Leva também à diminuição da emissão de gases poluentes.

Ao contrário do processo de estamparia convencional, a utilização da estamparia digital para produções de menor escala acaba por compensar uma vez que não exige a gravação de quadros e cilindros (DELTA, 2023; Monserrat, 2015).

2.3.3. Acabamento

O processo de acabamento é essencial para fazer com que o substrato têxtil se torne adequado para o seu fim, isto é, mais nobre e funcional, melhorando algumas das suas características tais como a rigidez, o peso e o amaciamento, entre outras (Castro, 2013; Pereira, 2010).

Esta fase permite também eliminar algumas das substâncias adicionadas durante todo o processo de enobrecimento que possam não ter aderido à fibra, garantindo que o substrato ganha uma maior solidez. É de notar, contudo, que tudo aquilo que é removido do substrato nesta fase não permanece no mesmo, mas passa a ser parte do efluente.

Os acabamentos podem ser de dois tipos: químicos e físico-químicos, e exclusivamente físicos (Pereira, 2010).

2.3.3.1. Acabamentos químicos e físico-químicos

Os acabamentos químicos e físico-químicos consistem na aplicação de determinados produtos no sentido de conferir determinada funcionalidade. Estão incluídos nestes acabamentos a aplicação de amaciador, o acabamento anti-ruga e ainda a incorporação de funcionalidades como repelência à água, impermeabilização, entre outras.

A aplicação de amaciador pode ser realizada em fios, tecidos ou malhas, ou até em peça confeccionada, quer em contínuo ou descontínuo. Tem como objetivo fornecer suavidade ao material têxtil e melhorar o seu encorpamento. O amaciador pode ser uma gordura ou um lubrificante especial.

No caso do acabamento anti-ruga, este pode ser aplicado de forma a conferir esta propriedade ao material de forma permanente ou não permanente e consiste na aplicação de resinas tais como a ureia e o formaldeído.

No acabamento repelente à água utilizam-se também resinas, neste caso resinas que garantam que o substrato não tenha a capacidade de absorver água (mas permitindo a passagem do ar) através, dentro de outras técnicas, da ação mecânica. Nos acabamentos impermeabilizantes são utilizadas novamente resinas para ser possível impermeabilizar o material, não sendo necessário usar ação mecânica neste caso (Pereira, 2010).

2.3.3.2. Acabamentos físicos

Os acabamentos físicos consistem em tecnologias de ação mecânica utilizadas para conferir determinadas propriedades de toque aos substratos têxteis. Dentro deste tipo de acabamentos, destacam-se seis principais: (i) calandragem, processo de modificação do toque, aumento do brilho e obtenção de efeitos especiais; (ii) ramolagem, processo usado para secar, termofixar e dar estabilidade aos artigos; (iii) cardação, utilizada para “levantar o pêlo” dos artigos, com o objetivo de melhorar o toque e reter o calor; (iv) esmerilagem, processo que consiste na passagem do artigo por rolos de esmeril (tipo “lixa”), possibilitando um ligeiro levantamento de pêlo (embora menor do que na cardação) e o aspeto pele de “pêssego”; (v) laminagem, processo de corte do pêlo dos artigos por meio de uma lâmina helicoidal, de forma a igualizar a altura do pêlo e a conferir uma superfície mais lisa; e (vi) compactação/sanforização, um tratamento de pré-encolhimento que serve para impedir que as estruturas em algodão encolham nas lavagens domésticas (Pereira, 2010). Como são métodos exclusivamente físicos, estes processos não utilizam água nem produtos químicos, não sendo alvo de estudo nesta dissertação.

2.4. Aspetos e impactos ambientais dos processos de enobrecimento têxtil

Nesta secção são apresentados os aspetos ambientais mais pertinentes a considerar no que diz respeito aos processos de enobrecimento têxtil, assim como os consequentes impactos ambientais, diretos e/ou indiretos, que podem advir dos mesmos (os quais estão associados aos recursos, matérias-primas e processos utilizados em cada fase do enobrecimento têxtil).

2.4.1. Consumo de água

A água é um dos recursos mais utilizados nos processos de enobrecimento têxtil, desempenhando um papel essencial nos mesmos, isto é, acaba por ser necessária na maior parte das etapas desta fase, desde as etapas de preparação como a descolagem, mercerização e branqueamento, ao tingimento (onde ocorre o maior consumo de água) e estamparia, sendo também muito utilizada nos processos de lavagem e nos acabamentos químicos e físico-químicos (Pereira, 2015).

A água utilizada é geralmente obtida a partir de águas superficiais, ou seja, cursos de água tais como rios, lagos e ribeiros ou a partir de água subterrânea como os poços (CITEVE, 2012).

No caso da água de origem superficial, esta é comumente sujeita a um tratamento numa Estação de Tratamento de Água (ETA) antes de ser utilizada nos processos de enobrecimento têxtil. Esta etapa é essencial, porque a qualidade da água tem impactos significativos ao longo dos processos de enobrecimento, podendo influenciar o nível de limpeza e brancura dos substratos têxteis, a solubilidade dos corantes, a solidez dos tingimentos, entre outros (CITEVE, 2012; Pereira, 2015).

De uma forma geral, o consumo de água em empresas do STV que incluem processos de enobrecimento varia entre 42 000 e 750 000 m³/ano. Trata-se de uma gama alargada uma vez que a quantidade de água utilizada depende das características do próprio processo produtivo, como é o caso do tipo de fibras e estruturas têxteis, cores pretendidas, dimensões e gramagem dos substratos têxteis, entre outras. De igual modo, o consumo específico de água encontra-se entre 35 e 325 L/kg. Dados os elevados volumes de água utilizados, destaca-se, assim, a importância de promover a reciclagem e/ou reutilização da água nos processos de enobrecimento têxtil (CITEVE, 2012).

Estima-se que a taxa de reutilização da água nas empresas do STV varia entre 9 e 64% (valores estes relativos ao consumo total de água das empresas). A maioria da água reutilizada corresponde à água para refrigeração. Contudo, existem algumas empresas com capacidade para reutilizarem efluentes líquidos que se encontrem menos poluídos, como é o caso das águas de lavagem ou água à saída de uma ETAR (CITEVE, 2012). A

Tabela 2 apresenta o consumo de água e taxa de reutilização deste recurso descrito para as empresas do STV com processos de enobrecimento têxtil.

Tabela 2. Utilização de água nas empresas do STV com processos de enobrecimento têxtil [Adaptado de (CITEVE, 2012)]

Parâmetros	Gama de valores
Consumo de água (m ³ /ano)	42 000 – 750 000
Consumo específico de água (L/kg)	35 – 325
Taxa de reciclagem de água (%)	9 – 64

No que diz respeito aos valores de consumo específico de água e taxa de reutilização por processo de enobrecimento têxtil, a Tabela 3 apresenta os resultados de um estudo realizado para um conjunto de instalações cuja identidade é confidencial ao longo de 3 anos consecutivos (2016, 2017 e 2018) (Roth et al., 2023).

Tabela 3. Consumo específico de água e taxa de reutilização/reciclagem de água por processo de enobrecimento têxtil [Adaptado de (Roth et al., 2023)]

Processo		Consumo específico de água (L/kg)	Percentagem de água reciclada/reutilizada (%)*
Desencolagem		1 – 22	0 – 36
Mercerização		1 – 61	0 – 54
Fervura alcalina	Descontínuo	1 – 43	0 – 66
	Contínuo	2 – 20	
Branqueamento		1 – 93	0 – 65
Tingimento	Descontínuo	Tecidos e malhas	0 – 43
		Fibras	
		Fios	
	Contínuo	0,45 – 110	0 – 38
Estamparia		13 – 60	0 – 23
Acabamento		0,05 – 30	0 – 35

*Valores calculados pela média das diferentes empresas.

Pela análise da Tabela 3, verifica-se que o processo de enobrecimento com menor consumo específico de água é a desencolagem e que o maior consumo se observa para os processos de tingimento em descontínuo. No caso da água que é reciclada/reutilizada nos processos de enobrecimento têxtil, verifica-se que o processo associado a uma

menor quantidade de água a ser reutilizada é a estamparia e que os processos onde há maior reutilização da água são os processos de preparação como a fervura alcalina e o branqueamento.

2.4.2. Consumo de produtos químicos

Para além do consumo intensivo de água, a fase de enobrecimento têxtil é também responsável pelo consumo de grandes quantidades de produtos químicos. De uma forma geral, a ITV é das que mais produtos químicos utiliza (Beltrame, 2000; CITEVE, 2012). Os produtos químicos usados nos processos de enobrecimento podem ser divididos em três grupos principais: os corantes e pigmentos (descritos na Secção 2.3.2), substâncias químicas e produtos auxiliares. Os dois últimos correspondem, na maior parte dos casos, a 90% do consumo total. A Tabela 4 apresenta o consumo de produtos químicos descrito para as empresas do STV com processos de enobrecimento têxtil.

No total, o consumo específico de produtos químicos em empresas de enobrecimento têxtil varia de 110 a 730 g/kg. Esta grande amplitude está relacionada com o tipo de processo de enobrecimento aplicado.

Relativamente aos corantes e pigmentos utilizados, a sua seleção depende do tipo de fibra a ser tratada e ainda do processo de tingimento e/ou estamparia a aplicar. De uma forma geral, o consumo específico de corantes nas empresas de enobrecimento têxtil apresenta-se numa gama de 7 a 90 g/kg e o consumo específico de pigmentos varia entre 2 e 10 g/kg.

No que diz respeito às substâncias químicas utilizadas em processos de enobrecimento têxtil, as mais comuns são a soda cáustica, peróxido de hidrogénio, cloreto de sódio (sal), hidrossulfito de sódio, ácido acético, soda solvay (carbonato de sódio) e ureia. A sua utilização depende do tipo de fibra que se pretende tratar e do tratamento a aplicar. Quanto aos produtos auxiliares, estes são misturas de substâncias químicas e, mais uma vez, variam de processo para processo e tendo em conta o tratamento a aplicar. Dentro desta categoria incluem-se os tensoativos, agentes sequestrantes, estabilizantes molhantes, amaciadores, agentes funcionais, entre outros. O consumo específico de substâncias químicas e produtos auxiliares nas empresas de enobrecimento varia entre 100 e 700 g/kg (CITEVE, 2012).

Tabela 4. Consumo específico de produtos químicos nas empresas do STV com processos de enobrecimento têxtil [Adaptado de (CITEVE, 2012)]

Parâmetros	Gama de valores
Consumo específico total de produtos químicos (g/kg)	110 – 730
Consumo específico de corantes (g/kg)	7 – 90

Tabela 4. (Continuação)

Parâmetros	Gama de valores
Consumo específico de pigmentos (g/kg)	2 – 10
Consumo específico de substâncias químicas e produtos auxiliares (g/kg)	100 – 700

2.4.3. Efluentes líquidos gerados

Como utilizam grandes quantidades de água e de produtos químicos que não são totalmente fixados no substrato têxtil, os processos de enobrecimento têxtil são também responsáveis pela produção de grandes volumes de efluentes líquidos. Para além dos efluentes resultantes do processo produtivo, as empresas de enobrecimento têxtil geram outro tipo de efluentes, nomeadamente efluentes domésticos, efluentes que resultam da atividade humana e ainda água de refrigeração (CITEVE, 2012).

Devido à carga poluente que apresentam, estes efluentes devem ser tratados antes de serem descarregados no meio hídrico (rios, por exemplo) ou num coletor municipal ou intermunicipal (que tem como função conduzir as águas residuais às ETAR e devolver a água tratada ao meio hídrico) (CITEVE, 2012; Pereira, 2015).

Quando se descarrega o efluente para o meio hídrico, este deve ser sujeito a um tratamento numa ETAR presente na própria empresa, a qual deve assegurar que o efluente tratado apresenta as características físico-químicas definidas na legislação para descarga em meio hídrico. No caso da descarga em coletor, o efluente deve passar por uma Estação de Pré-Tratamento de Água Residual (EPTAR) que, no mínimo, contém um tanque para igualização de caudal e ajuste do pH e temperatura.

Os volumes de efluente descarregado pelas empresas de enobrecimento têxtil variam entre 107 000 e 695 000 m³/ano, sendo o volume específico de efluente descarregado cerca de 45 a 450 L/kg, tal como se pode observar na Tabela 5.

Tabela 5. Volumes de efluentes líquidos gerados nas empresas do STV com processos de enobrecimento têxtil [Adaptado de (CITEVE, 2012)]

Parâmetros	Gama de valores
Volume de descarga de efluentes líquidos (m ³ /ano)	107 000 – 695 000
Volume específico de descarga de efluentes líquidos (L/kg)	45 – 450

2.4.3.1. Composição físico-química dos efluentes líquidos gerados

Os efluentes líquidos têxteis apresentam uma composição físico-química muito heterogênea que depende do tipo de artigo têxtil em tratamento, da sua composição, dos processos produtivos e dos produtos químicos aplicados. De uma forma geral,

caracterizam-se pela sua coloração, presença de matéria orgânica e baixas concentrações de metais associadas à utilização de corantes. Como a maioria dos produtos utilizados não são biodegradáveis, a carência química de oxigénio (CQO) é sempre mais elevada do que a carência bioquímica de oxigénio (CBO₅) (CITEVE, 2012; Ferreira, 2021).

No entanto, desconstruindo as diferentes fases do enobrecimento têxtil, começando pelo tratamento prévio, verifica-se que o efluente gerado na descolagem apresenta normalmente volumes elevados, pH básico ou ácido e com a presença de tensoativos, agentes encolantes e enzimas. Na mercerização o efluente apresenta temperatura elevada e com a presença de soda cáustica. No que toca à fervura alcalina, a corrente líquida que se forma é básica e contém tensoativos, gorduras, sais minerais, ceras e pectinas. No branqueamento o efluente pode ser ácido ou básico e contém sulfatos e peróxido de hidrogénio. No tingimento e na estamparia, a corrente líquida gerada apresenta elevadas temperaturas e é muito contaminada com corantes, pigmentos, sais e outros produtos químicos. No caso do efluente resultante do acabamento químico e das lavagens, ambos apresentam também uma grande diversidade de produtos químicos, sendo que o último apresenta também cor.

Dada a grande variabilidade e complexidade dos efluentes gerados nos processos de enobrecimento, é de notar que esta composição pode por vezes complicar o processo de tratamento em ETAR porque os tratamentos biológicos comuns podem não estar preparados para decompor moléculas orgânicas complexas como as utilizadas nestes processos e os metais presentes causam a inibição da atividade microbiana (Alkaya et al., 2012).

2.4.3.2. Parâmetros indicadores de caracterização da qualidade do efluente

Tendo em conta o tipo de contaminantes presentes nos efluentes resultantes dos processos de enobrecimento, torna-se necessário caracterizar estes efluentes de acordo com determinados parâmetros físico-químicos. Os parâmetros a medir dependem do local a que se destina o efluente (meio hídrico ou coletores). Estes, bem como a frequência com que são medidos, estão definidos na autorização ou licença de descarga de cada empresa (Beltrame, 2000; CITEVE, 2012). A Tabela 6 apresenta alguns dos parâmetros físico-químicos mais relevantes a monitorizar para avaliar a qualidade do efluente têxtil.

Tabela 6. Parâmetros físico-químicos a monitorizar para avaliação da qualidade dos efluentes têxteis resultantes dos processos de enobrecimento

pH	Parâmetro químico que permite identificar se o efluente é ácido ($\text{pH} < 7$), neutro ($\text{pH} = 7$) ou básico/alcalino ($\text{pH} > 7$). É um parâmetro importante a analisar uma vez que pode condicionar as reações químicas que ocorrem no meio para onde são descarregadas. Esta é uma das razões pelas quais a neutralização do pH é uma das etapas de pré-tratamento tanto em ETA como em ETAR (Beltrame, 2000; Ferreira, 2021).
CBO_5	Este parâmetro mede a quantidade de oxigénio necessária para se degradar biologicamente a matéria orgânica presente no efluente, durante um determinado intervalo de tempo a uma dada temperatura, normalmente 5 dias e 20 °C, respetivamente (Bisschops & Spanjers, 2003; Monte et al., 2016). É tipicamente monitorizado para avaliar a biodegradabilidade do efluente.
CQO	Parâmetro muito utilizado para determinação da quantidade de matéria orgânica presente no efluente. Corresponde à quantidade de oxigénio necessária para oxidar quimicamente a matéria orgânica presente num efluente para esta ser convertida em dióxido de carbono (CO_2), água e matéria inorgânica. Valores elevados de CQO podem estar relacionados com o tratamento de fibras sintéticas, nomeadamente a sua lavagem e tingimento (Bisschops & Spanjers, 2003; Roth et al., 2023). Os valores de CQO são sempre superiores aos de CBO_5 num efluente industrial, pois o dicromato de potássio utilizado nas medições de CQO degrada a matéria orgânica biodegradável e não biodegradável (Monte et al., 2016).
SST	Partículas de origem orgânica ou inorgânica que se mantêm em suspensão nas águas residuais pela sua densidade (quando inferior ou igual à do efluente) ou pela própria turbulência do efluente. A sua determinação é de especial importância quando se pretende reutilizar a água residual (Bisschops & Spanjers, 2003).
Cloretos	O elevado teor de cloretos é uma característica muito associada a efluentes têxteis, sendo a sua presença no efluente resultante dos banhos de tingimento, fase na qual são utilizadas diversas concentrações de cloreto de sódio (Beltrame, 2000; Chagas, 2009).
Condutividade	Este parâmetro mede a capacidade que um determinado efluente líquido apresenta para conduzir corrente elétrica, sendo proporcional à quantidade de sais que se encontram nele dissolvidos. É um parâmetro de muita relevância nos efluentes têxteis pelo facto de o cloreto de sódio ser bastante utilizado nos processos de tingimento dos artigos têxteis (Cerqueira, 2006; Freitas, 2002).

Tabela 6. (Continuação)

Azoto total	A presença de azoto num efluente têxtil pode estar associada a várias razões, nomeadamente a utilização de ureia nos processos de tingimento com corantes reativos e pré-tratamento para estamparia, e de sulfato de amónio para o acabamento retardador de chama. Desta forma, acaba por se tornar num parâmetro relevante de analisar quando se trata deste tipo de efluente (Roth et al., 2023).
Fósforo total	O fósforo é um nutriente que se pode encontrar nos efluentes do STV devido aos processos de tingimento e estamparia, assim como a utilização de compostos organofosforados como retardadores de chama (Roth et al., 2023, Rosa, 2018). A monitorização deste parâmetro e o seu tratamento é essencial para que se evite a acumulação excessiva de nutrientes no meio hídrico, o que pode causar efeitos adversos como a eutrofização (Esteves, 2011; Martins, 2014).

2.4.3.3. Composição físico-química dos efluentes têxteis descarregados em meio hídrico e em coletores

Os indicadores químicos mais importantes a analisar num efluente têxtil com destino ao meio hídrico são o pH, CBO₅, CQO, SST, detergentes aniónicos e azoto e fósforo totais, sendo a cor o indicador físico mais característico nestes efluentes (CITEVE, 2012). Já os parâmetros físico-químicos mais importantes a analisar num efluente têxtil com destino aos coletores são o pH, CBO₅, CQO, SST e os cloretos, embora existam outros parâmetros como os detergentes aniónicos, os cianetos totais, o ferro, o cloro residual total, entre outros (CITEVE, 2012; Pereira, 2015).

Na Tabela 7 são apresentadas as composições características de efluentes líquidos têxteis descarregados para o meio hídrico ou em coletores.

Tabela 7. Parâmetros físico-químicos característicos dos efluentes líquidos descarregados em meio hídrico e em coletores

Parâmetros	Valores de descarga em meio hídrico		Valores de descarga em coletor	
	(CITEVE, 2012)	(Roth et al., 2023)	CITEVE, 2012	(Roth et al., 2023)
pH (escala Sorensen)	7,0 – 8,6	n.d.	4,7 – 11,8	n.d.
CBO ₅ (mg/L O ₂)	3,0 – 46,0	3,0 - 77,0	9,0 – 2 580	0,55 - 8 150
CQO (mg/L O ₂)	34,0 – 255,0	39,0 - 776,0	102,0 – 11 000	54,0 - 29 200
SST (mg/L)	2,6 – 200,0	1,0 - 107,0	3,0 – 2 500	0,21 - 54 000
Cloretos (mg/L)	-	-	19,5 – 3 800	n.d.
Sulfuretos (mg/L S)	n.d.	0,02 - 23,2	1,0 – 12,0	0,02 - 23,2

Tabela 7. (Continuação)

Parâmetros	Valores de descarga em meio hídrico		Valores de descarga em coletor	
	(CITEVE, 2012)	(Roth et al., 2023)	CITEVE, 2012	(Roth et al., 2023)
Detergentes aniônicos (mg/L)	0,1 – 0,6	n.d.	0,1 – 8,4	n.d.
Cianetos totais (mg/L CN)	-	-	0,01 – 0,1	n.d.
Fenóis (mg/L)	-	-	0,04 – 0,046	n.d.
Chumbo (mg/L Pb)	-	-	0,005 – 0,3	n.d.
Cobre (mg/L Cu)	-	-	0,1 – 0,36	0,008 - 1,7
Crômio total (mg/L Cr)	n.d.	0,008 - 0,5	0,03 – 1,40	0,005 - 15,8
Crômio hexavalente (mg/L Cr (VI))	-	-	0,01 – 2,0	n.d.
Crômio trivalente (mg/L Cr (III))	-	-	0,2 – 2,0	n.d.
Cádmio (mg/L Cd)	-	-	0,001 – 0,10	n.d.
Níquel (mg/L Ni)	n.d.	0,003 - 1,0	0,01 – 0,20	0,004 - 2,0
Zinco (mg/L Zn)	n.d.	0,04 - 0,5	0,07 – 1,70	0,06 - 29,9
Boro (mg/L B)	-	-	0,1 – 2,6	n.d.
Ferro (mg/L Fe)	-	-	0,2 – 1,4	n.d.
Selênio (mg/L Se)	-	-	0,003 – 0,020	n.d.
Alumínio (mg/L Al)	-	-	1,0 – 22,0	n.d.
Carbono Orgânico Total (COT) (mg/L)	n.d.	10,4 - 44	140,0 – 170,0	51,0 - 1 600
Azoto Amoniacal (mg/L NH ₄)	-	-	0,2 – 50,4	n.d.
Azoto Total (mg/L N)	2,3 – 17,0	2,2 - 47,0	3,3 – 73,0	5,5 - 2 790
Fósforo Total (mg/L P)	0,6 – 5,1	0,35 - 52,0	2,0 – 5,6	0,24 - 77,0
Nitratos (mg/L NO ₃)	-	-	27,0 – 35,0	n.d.
Nitritos (mg/L NO ₂)	-	-	0,02 – 3,6	n.d.
Sulfatos (mg/L SO ₄)	-	-	18,0 – 38,0	n.d.
Hidrocarbonetos Totais (mg/L)	-	-	2,0 – 140,0	n.d.

Tabela 7. (Continuação)

Parâmetros	Valores de descarga em meio hídrico		Valores de descarga em coletor	
	(CITEVE, 2012)	(Roth et al., 2023)	CITEVE, 2012	(Roth et al., 2023)
Óleos e Gorduras (mg/L)	n.d.	0,03 - 147,5	11,0 – 137,0	0,03 - 147,5
Cloro residual total (mg/L Cl ₂)	-	-	0,0 – 0,5	n.d.
Antimónio (mg/L Sb)	n.d.	0,0005 - 1,1	n.d.	0,0005 - 1,1
Temperatura (°C)	-	-	16 – 41	n.d.
Condutividade (mS/cm)	-	-	0,2 – 11,9	n.d.

3. Metodologia

Nesta secção é descrita a metodologia adotada para a realização desta dissertação. Inicialmente foi elaborado um ficheiro/formulário (usando o *Microsoft Excel*) para recolha dos dados importantes a caracterizar nas empresas têxteis integrantes do consórcio GIATEX. De modo a manter a confidencialidade dos dados das empresas e da sua identidade, as 12 empresas foram identificadas com a designação GT01 a GT12. Estas foram selecionadas de forma a serem analisados processos produtivos de empresas que realizam diferentes processos de enobrecimento têxtil e perceber de que modo tal fator pode afetar o consumo de recursos e o tipo de produtos químicos utilizados nas empresas do STV.

O ficheiro criado serviu como inquérito, e nele foram pedidos dados referentes a cada uma das empresas para os anos de 2020 e 2021, nomeadamente: (i) os processos que realizam e quais as estruturas têxteis que processam; (ii) as quantidades de produção anuais e mensais por tipo de estrutura têxtil e fibra; (iii) as quantidades de produtos químicos consumidos nas diferentes etapas/processos de enobrecimento; e (iv) as quantidades de água consumida mensalmente por tipo de processo de enobrecimento.

Estes dados obtidos foram organizados e tratados, também em Microsoft Excel, tendo-se sistematizado a informação na forma de tabelas e gráficos para simplificar a visualização e análise dos mesmos. Para simplificar a análise foi considerado como ano de referência o ano de pré-projeto, 2021, pelo que os dados apresentados são referentes a este ano. Para além da sistematização dos dados, foram ainda calculados os consumos específicos de água e de produtos químicos por tipo de processo de enobrecimento têxtil, de modo a comparar os consumos específicos entre empresas que realizam a mesma tipologia de processos e a comparar os valores obtidos com os consumos específicos apresentados na literatura.

Foram ainda analisadas as composições dos efluentes gerados pelas 12 empresas, no sentido de avaliar a sua composição e possibilidade de tratamento para recirculação/reutilização.

Com toda esta informação foi possível obter uma caracterização detalhada do processo produtivo das 12 empresas em análise relativamente ao consumo de água e produtos químicos e ao fluxo e composição da água, e assim perceber em que etapas a adoção de medidas de otimização do consumo de água será mais necessária, definindo-as.

4. Resultados e Discussão

4.1. Produção global e consumo de água e produtos químicos nas empresas que constituem o consórcio

Numa primeira fase avaliou-se a tipologia de processos de enobrecimento realizados e os substratos têxteis processados em cada empresa. Esta informação foi compilada em dois gráficos, Figuras 9 e 10, respetivamente.

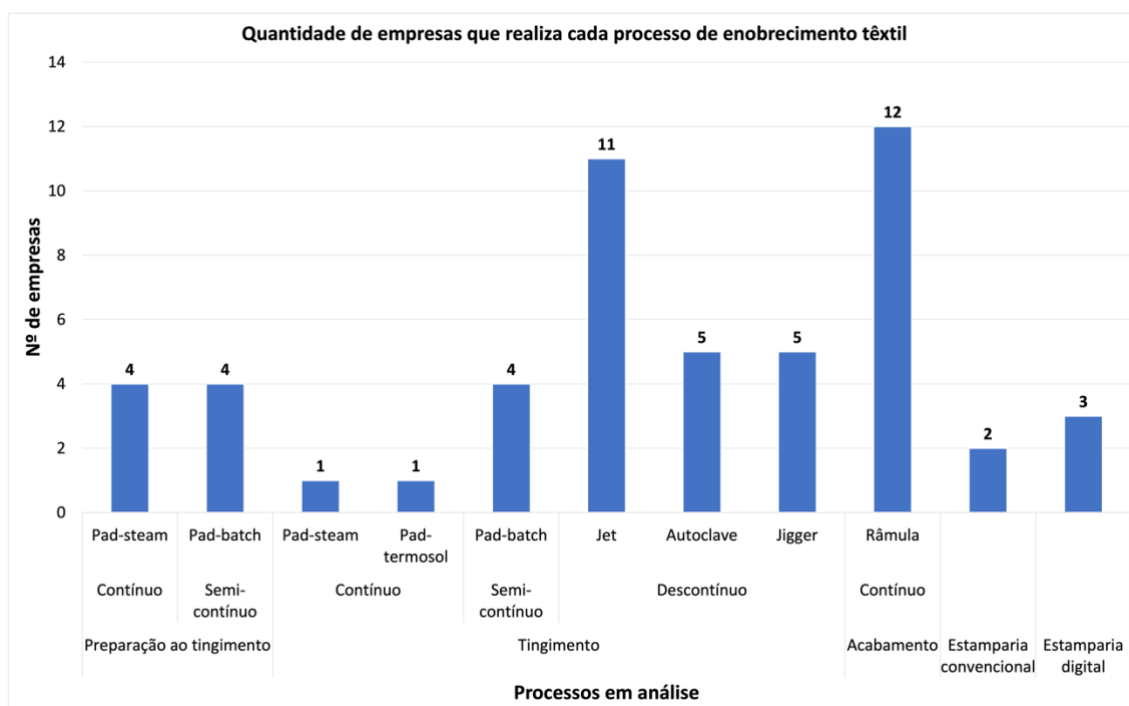


Figura 9. Quantidade de empresas que realiza cada processo de enobrecimento têxtil.

Na Figura 9, verifica-se que o único processo que é realizado por todas as empresas é o acabamento contínuo em râmula. O facto de o acabamento ser transversal a todas as empresas é algo que seria de esperar uma vez que se trata de uma etapa essencial para conferir propriedades de toque e outras funcionalidades às estruturas têxteis e assim garantir que estas podem avançar para a fase de confeção. O mesmo acontece relativamente à preparação ao tingimento, embora não seja facilmente perceptível pela Figura 9. De acordo com a Figura 9, 4 empresas realizam a preparação ao tingimento em modo contínuo e 4 realizam em modo semi-contínuo. As restantes empresas realizam a preparação ao tingimento em descontínuo, a qual se realiza nos mesmos equipamentos usados para o tingimento, sendo contabilizadas junto com o processo de tingimento em descontínuo. Também se verificou que as 12 empresas realizam pelo menos um dos diferentes tipos de tingimento, sejam eles em modo contínuo, semi-contínuo ou descontínuo. Contudo, o tipo de tingimento que é utilizado

pela grande maioria das empresas é o tingimento em descontínuo em *Jet*, totalizando 11 empresas. Isto explica-se porque o consórcio integra 5 empresas dedicadas ao tingimento de malha, 3 empresas dedicadas ao tingimento de artigos em felpo (processos tipicamente realizados nestes equipamentos) e outras 3 realizam também o tingimento de tecidos em *Jet*, embora em menor quantidade. Quanto ao processo de estamparia, verifica-se que 2 empresas realizam o processo de estamparia convencional e 3 realizam o processo de estamparia digital.

Para além dos processos de enobrecimento, sabe-se que 4 empresas realizam fiação, 5 realizam tecelagem e 3 realizam confecção. Estes dados indicam que, de uma forma geral, a maioria das empresas que integram o consórcio não são verticais, isto é, não abrangem todas as etapas da cadeia produtiva têxtil, o que não é considerado um entrave pois o mais relevante de analisar são os processos relativos ao enobrecimento têxtil.

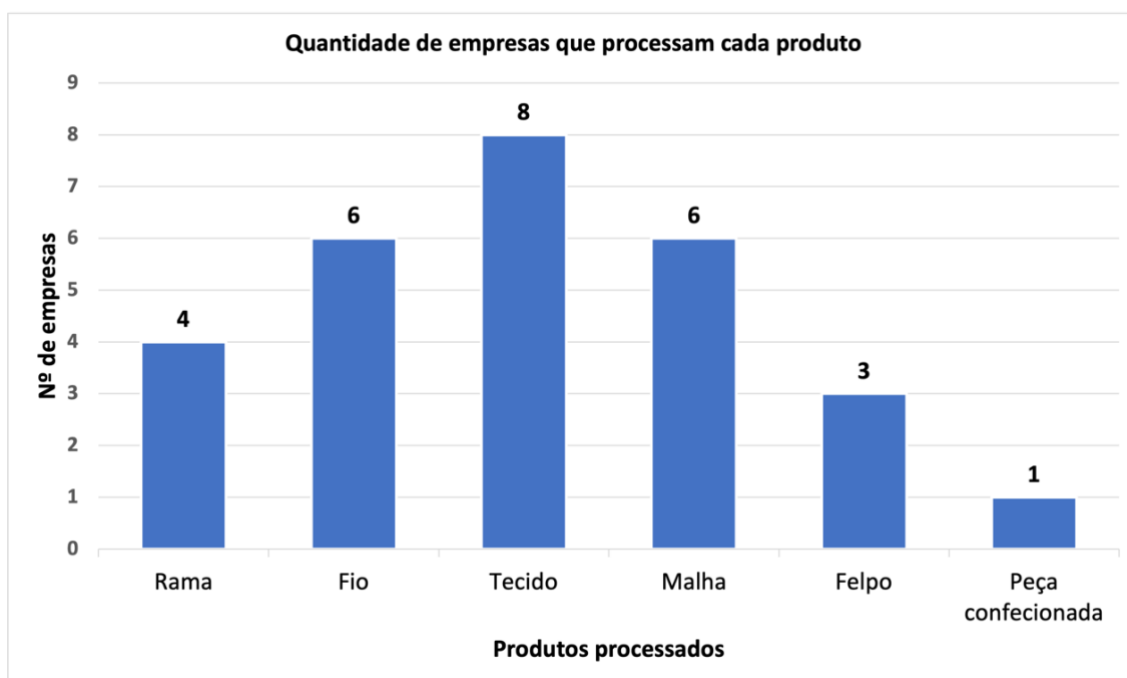


Figura 10. Quantidade de empresas que processam cada produto têxtil.

Quanto às estruturas processadas pelas empresas, verifica-se que o consórcio integra empresas que processam as mais diversas estruturas, desde a rama e fio às estruturas em tecido, malha, felpo e peça confeccionada. A existência de empresas representativas de cada um destes processos é importante para a adequada caracterização ambiental dos mesmos, uma vez que existe uma grande variabilidade entre eles (no modo de operação utilizado, no tipo e quantidade de produtos químicos utilizados, entre outros). Quanto às estruturas mais processadas, tal como se pode observar pela Figura 10, a estrutura têxtil mais processada é o tecido, com 8 das 12 a processarem esta estrutura, seguido pela malha, com 6 das 12 empresas a processá-la.

Por outro lado, apenas uma empresa processa estruturas em peça confeccionada. É de notar ainda que 6 das empresas processam fio, 4 processam rama e 3 processam felpo.

Após avaliação da tipologia de processos realizados pelas empresas, foi feita uma análise das produções anuais das mesmas. A Figura 11 apresenta o volume de produção anual registado em cada uma das empresas no ano de 2021.

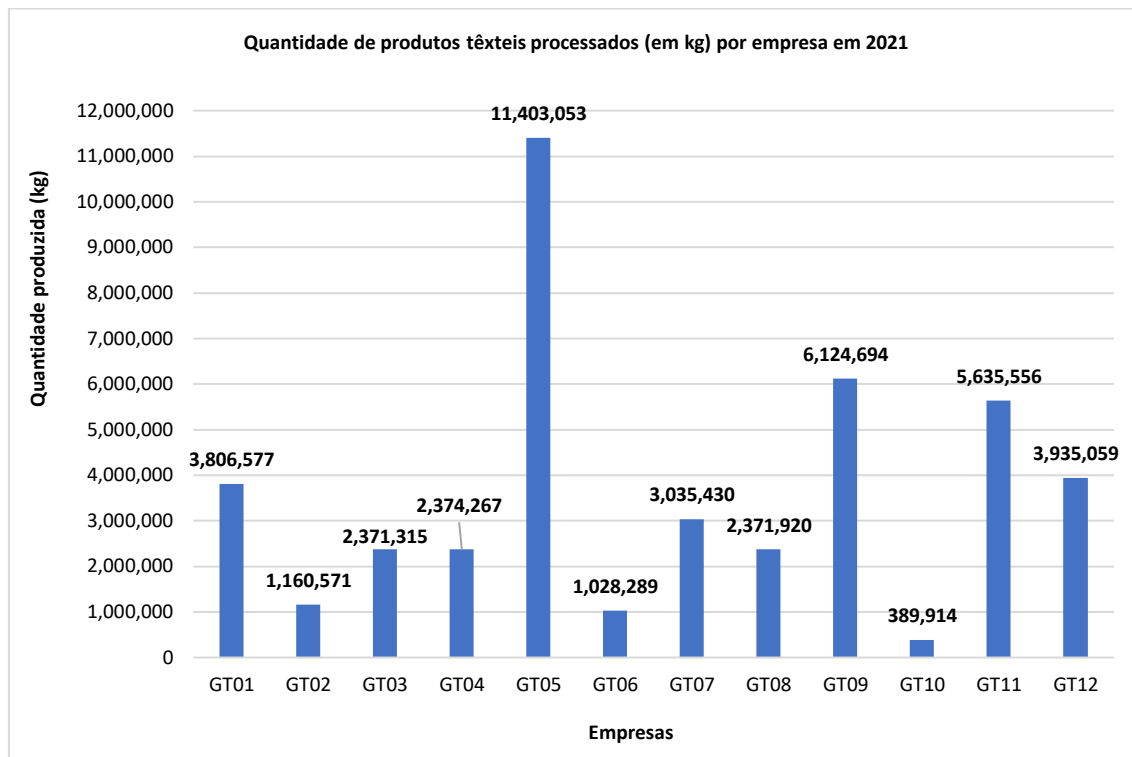


Figura 11. Quantidade total de produtos têxteis processados em cada empresa.

Verifica-se que a empresa com maior volume de produção é a empresa GT05, que totalizou uma produção de 11 403 053 kg. Este valor é consideravelmente mais elevado do que o da segunda empresa com maior produção, a empresa GT09, que apresentou uma produção de 6 124 694 kg, ou seja, cerca de metade da quantidade produzida pela GT05. A maior produção, em quilogramas, observada para a empresa GT05 está relacionada com o facto de esta ser uma grande empresa que processa essencialmente artigos em felpo, que geralmente apresentam uma elevada massa por unidade de área. Por outro lado, verifica-se que a empresa GT10 é a que apresenta uma menor produção, registando 389 914 kg em 2021. Em média, a produção das 12 empresas corresponde a cerca de 3 636 387 kg.

Numa fase seguinte avaliaram-se os consumos anuais de água e produtos químicos nas 12 empresas, os quais são apresentados nas Figuras 12 e 13, respetivamente.

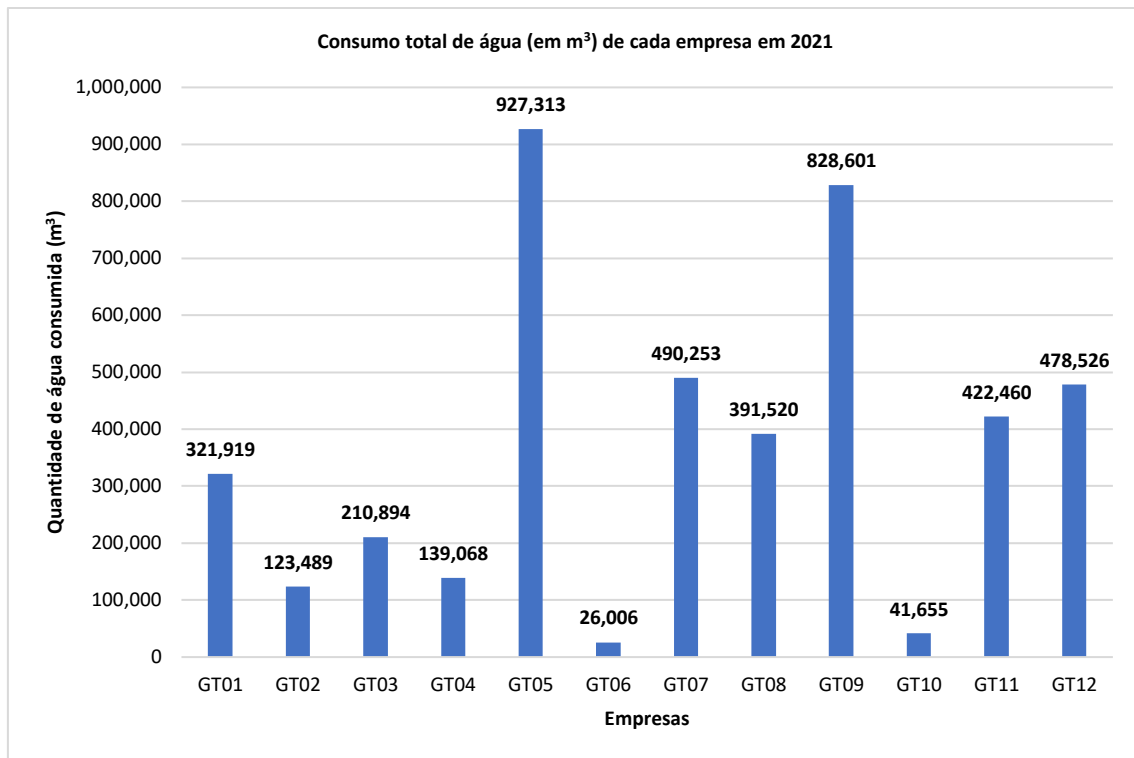


Figura 12. Quantidade de água consumida em cada empresa.

Pela análise da Figura 12, verifica-se que a empresa que apresenta um maior consumo de água é a GT05, com um consumo de 927 313 m³, e a empresa que apresenta um menor consumo é a GT06, correspondente a 26 006 m³. Tal como observado para a produção, a segunda empresa com maior consumo de água é a GT09, com 828 601 m³. A razão pela qual a empresa GT05 consome maior quantidade de água, seguida pela GT09, pode estar associada ao volume de produção, indicando uma proporcionalidade direta entre a produção em quilogramas e a quantidade de água consumida. De facto, esta proporcionalidade verifica-se, tal como se pode observar na Figura I.1 apresentada nos Anexos. Em média, o consumo de água por parte das empresas em análise corresponde a 366 809 m³. Já o consumo específico de água das 12 empresas é, em média, de 101 L/kg. Este consumo está de acordo com o consumo estimado pela regressão linear obtida entre o consumo de água e a produção apresentados na Figura I.1, que foi 95,3 L/kg.

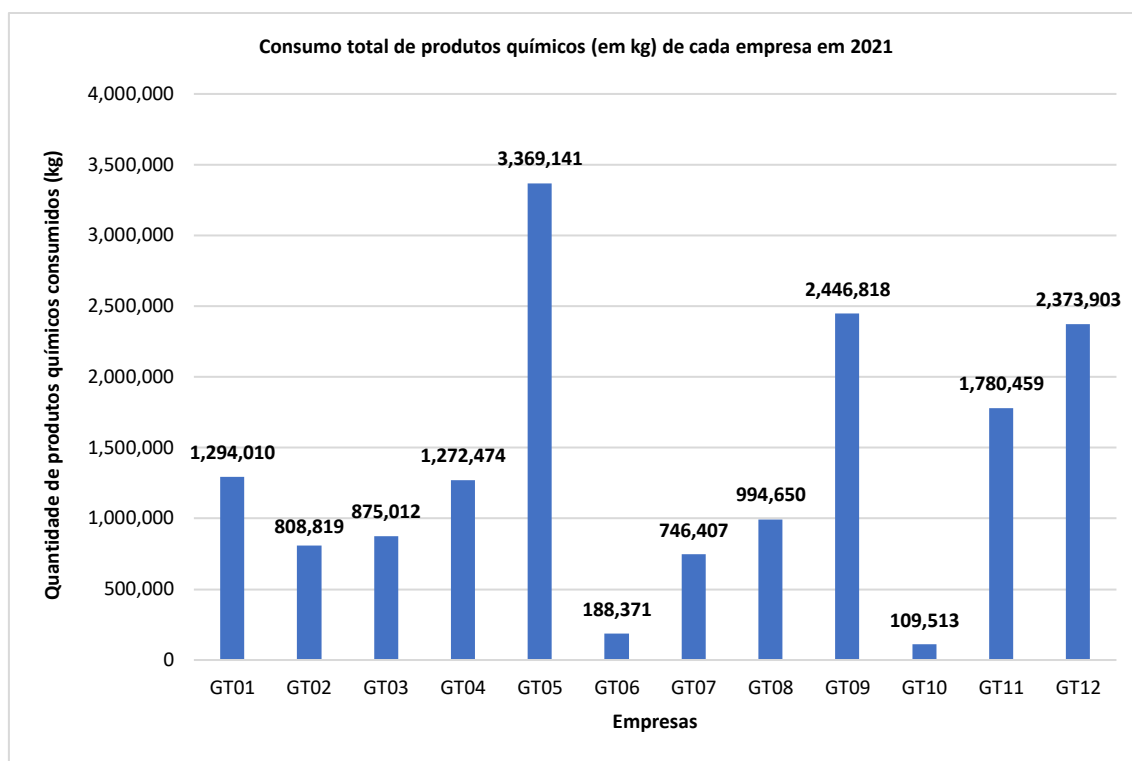


Figura 13. Quantidade de produtos químicos consumidos em cada empresa.

Analisando a Figura 13 verifica-se que a empresa que consome mais produtos químicos é a GT05, com um consumo de 3 369 141 kg, o que seria de esperar uma vez que é também a que tem maior produção e que mais água consome. Por outro lado, a empresa GT10 é a que consome menor quantidade de produtos químicos, mais especificamente 109 513 kg. Este resultado também seria de prever, uma vez que esta empresa é a que apresenta menor produção. Assim, verifica-se que também o consumo de produtos químicos está relacionado com a produção de artigos têxteis, apresentando uma relação de proporcionalidade direta (ver Figura I.2 apresentada nos Anexos).

Em média, o consumo de produtos químicos das empresas em estudo corresponde a 1 354 965 kg. Por outro lado, o consumo específico de produtos químicos é em média de 390 g/kg. Tal como para o consumo específico de água, também o consumo específico de produtos químicos pode ser estimado pela regressão linear entre o consumo de produtos químicos das empresas e a sua produção, apresentada na Figura I.2, que foi de 344 g/kg.

Ainda relativamente ao consumo de produtos químicos, foi avaliada a representatividade dos produtos químicos utilizados em cada processo de enobrecimento têxtil nas referidas empresas. A título de exemplo, foi selecionada uma das empresas que apresenta os dados de consumo de produtos químicos discriminados por tipologia de processo de enobrecimento. Com estes dados foi possível identificar os produtos químicos e respetivas quantidades utilizados nos processos de preparação ao

tingimento, tingimento, acabamento, estamparia convencional e estamparia digital, resultados esses apresentados nas Figuras 14 a 18, respetivamente.

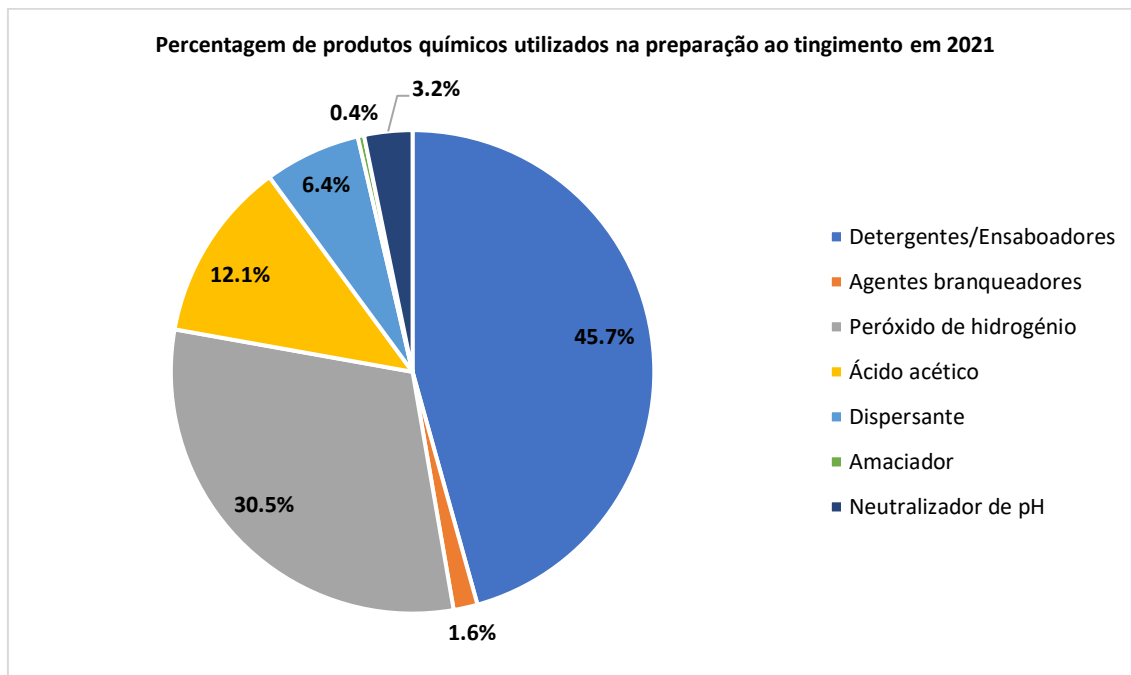


Figura 14. Representatividade dos produtos químicos utilizados na preparação ao tingimento.

Na Figura 14, percebe-se que os produtos químicos mais utilizados na preparação ao tingimento são os detergentes/ensaboadores, com uma percentagem de 45,7%, seguido pelo peróxido de hidrogénio, com uma percentagem de 30,5%. A grande representatividade dos detergentes/ensaboadores pode estar relacionada com o facto de estes serem bastante utilizados nas fases de desengolagem e fervura alcalina. No caso da desengolagem, este tipo de produtos químicos é utilizado para a eliminação da goma ou cola que foi aplicada ao fio, através de uma lavagem alcalina. No caso da fervura alcalina, os detergentes/ensaboadores que constituem tipos de tensoativos, são usados para a emulsificação, permitindo a remoção de óleos e gorduras (Castro, 2013; Santos, 2005). Já a elevada representatividade do peróxido de hidrogénio poderá estar associada à sua utilização no processo de branqueamento, etapa essencial na preparação das estruturas têxteis para que possam receber cor. Para além destes produtos químicos, outros que são utilizados com relevância são o ácido acético e o dispersante. Os produtos químicos utilizados em menor quantidade neste processo são os agentes branqueadores, com 1,6%, e o amaciador, com 0,4%.

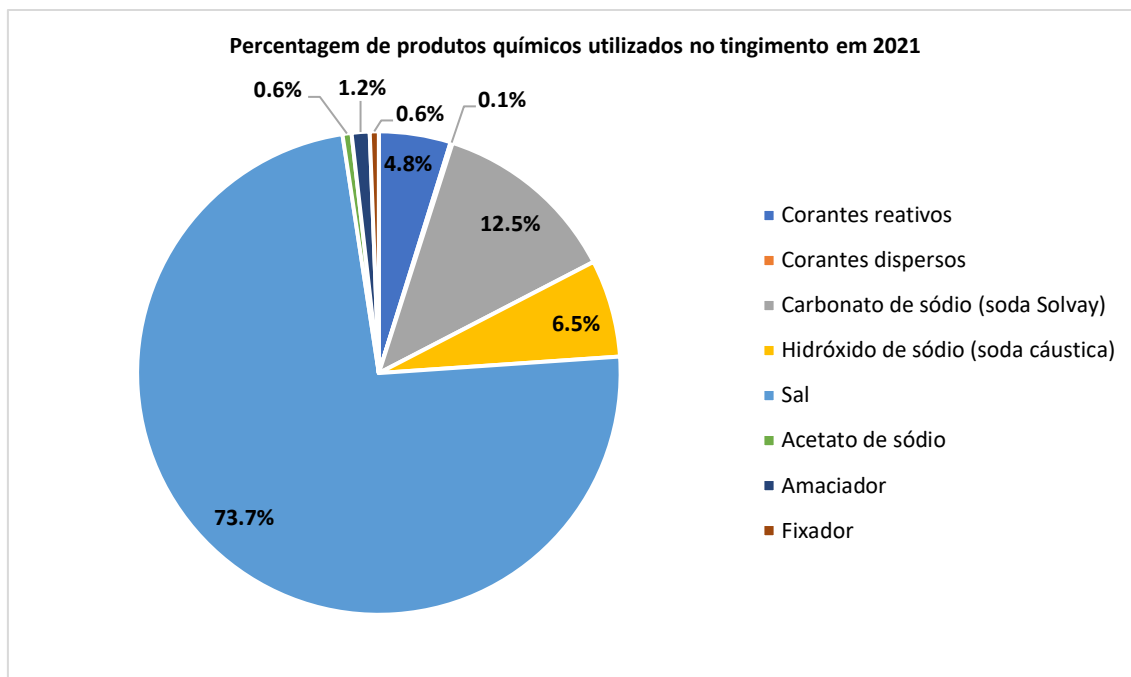


Figura 15. Representatividade dos produtos químicos utilizados no tingimento.

Como se verifica pela Figura 15, o sal é indubitavelmente o produto químico mais utilizado no tingimento, com uma percentagem de utilização de 73,7%. A utilização deste composto representa mais de metade de todos os produtos químicos utilizados neste processo uma vez que se trata de um eletrólito. Tal como mencionado na Secção 2.3.2.1, os eletrólitos são compostos importantes neste processo, sendo necessários para promover a ligação do corante à fibra. Quando entra em contacto com o banho de tingimento, o sal dissolve-se e o corante perde mobilidade, passando para o interior da fibra (Fonseca et al., 2013). Embora em quantidade bastante inferior, o carbonato de sódio e o hidróxido de sódio, agentes alcalinos que facilitam a fixação do corante, e os corantes reativos, usados principalmente no tingimento de algodão, são também dos produtos mais utilizados, representando 12,5%, 6,5% e 4,8%, respetivamente (Antunes, 2019; Gomes, 2019; Vieira, 2016). Os corantes dispersos, geralmente associados ao tingimento de fibras sintéticas e outras fibras hidrofóbicas, são utilizados em menor quantidade, mais especificamente 0,1%. Também em baixa quantidade, apresenta-se o amaciador, com 1,2%, seguido do acetato de sódio e do fixador, ambos representando 0,6% do consumo total de produtos químicos neste processo (Gomes, 2019).

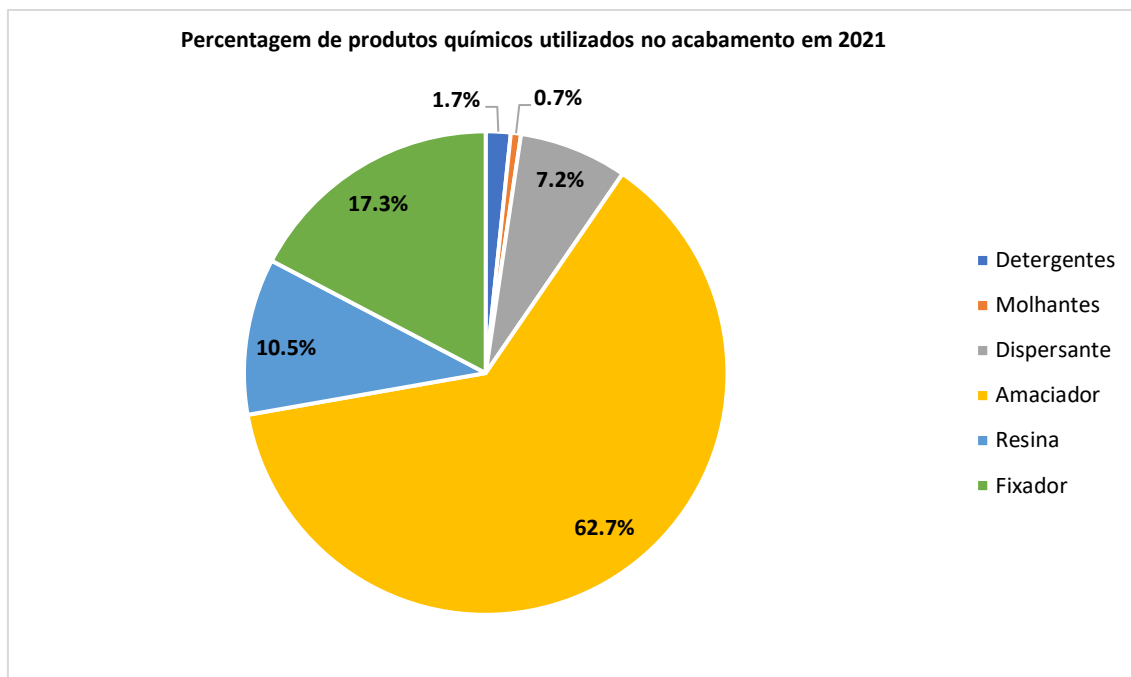


Figura 16. Representatividade dos produtos químicos utilizados no acabamento.

Comparando a diversidade de produtos químicos usados na fase de acabamento com a diversidade utilizada nas fases anteriores, a Figura 16 mostra que esta é a etapa onde é utilizada uma menor variedade de produtos, tendo-se contabilizado 6 categorias diferentes. Destes, o amaciador é o que representa mais de metade dos produtos utilizados nesta etapa, 62,7%, podendo-se concluir que o tipo de acabamento mais comum é o amaciamento. Os fixadores, resinas, agentes dispersantes e detergentes são os produtos que se seguem. Já os produtos menos utilizados nesta etapa são os molhantes, que representam 0,7%.

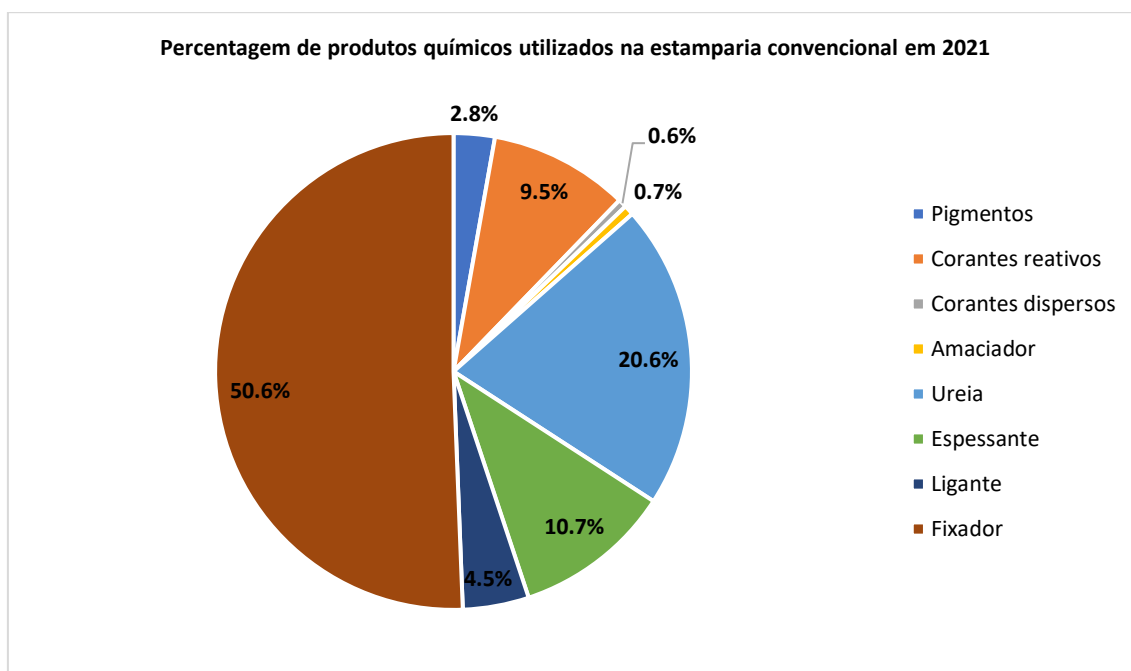


Figura 17. Representatividade dos produtos químicos utilizados em estamparia convencional.

Pela análise da Figura 17, referente aos produtos químicos utilizados em estamparia convencional, observa-se que aproximadamente metade da quantidade total de produtos usados neste processo, 50,6%, corresponde ao fixador. Para além deste, a ureia, agentes espessantes e os corantes reativos são também predominantemente aplicados neste processo. Os corantes dispersos e o amaciador são os produtos utilizados em menor quantidade, representando 0,6% e 0,7% de utilização, respetivamente. O consumo significativo de fixador e agentes espessantes nesta etapa seria de prever, uma vez que estes produtos são habitualmente adicionados à pasta de estampar com o objetivo de auxiliar na interação entre o corante e a fibra e garantir que o corante não migra para zonas indesejadas do tecido, podendo ser considerados como produtos importantes do processo de estamparia convencional. Consoante o corante utilizado, os fixadores e espessantes usados podem tratar-se de sais, ácidos ou bases (Carmo, 2016). Embora em quantidades menores, neste processo aplicam-se também os pigmentos e ligantes. Isto porque no processo de estamparia com pigmentos, é necessária a incorporação de ligantes (polímeros que promovem a adesão dos pigmentos às fibras), pois os pigmentos não manifestam afinidade física nem química com as fibras (Beltrame, 2000).

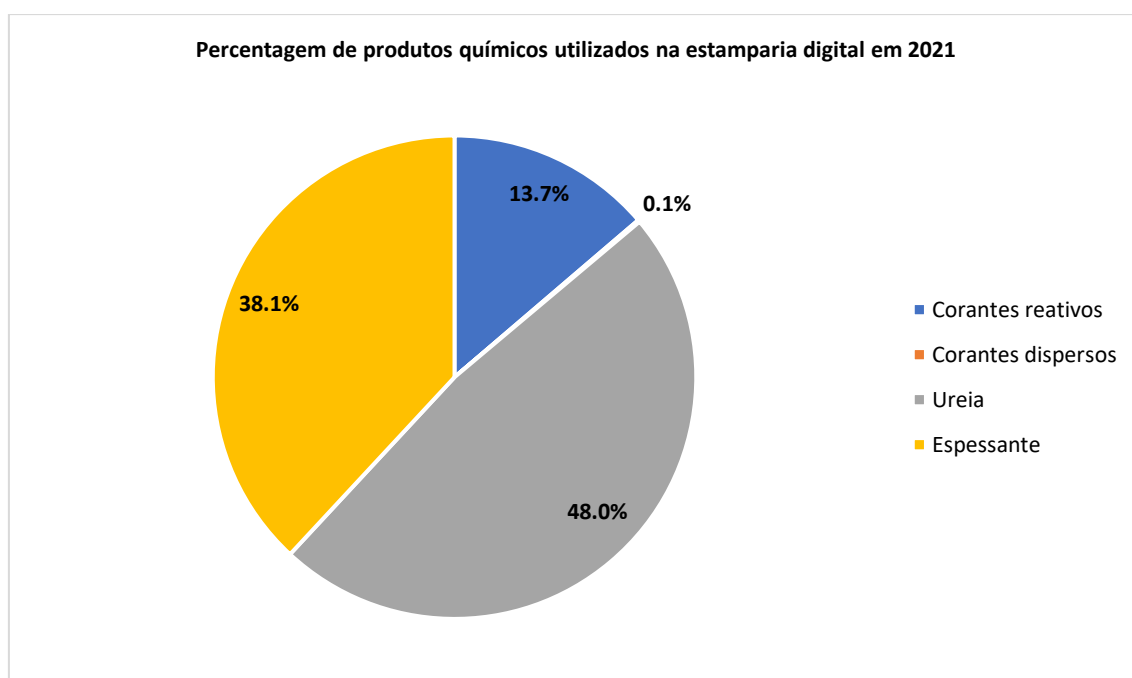


Figura 18. Representatividade dos produtos químicos utilizados em estamparia digital.

Na Figura 18 encontra-se a representatividade dos produtos químicos utilizados em estamparia digital. Por comparação com os produtos utilizados na estamparia convencional, verifica-se que o processo de estamparia digital utiliza uma menor variedade de produtos químicos, tal como referido na literatura e descrito na Secção 2.3.2.2.2. Os processos de estamparia convencional e digital diferem entre si na medida em que na primeira, a pasta de estampar é preparada com a inclusão de todos os

produtos auxiliares necessários para o processo, e na segunda, os produtos químicos auxiliares podem danificar os equipamentos de estamparia digital e, por isso, são aplicados no substrato têxtil numa etapa anterior à impressão, não sendo incluídos na lista de produtos químicos usados no processo de estamparia digital propriamente dito (Bezerra, 2017; Carmo, 2016; Lopes, 2009). A título de exemplo, o fixador contém partículas dissolvidas com carga que iriam interferir com o funcionamento da impressão da estamparia digital, uma vez que o equipamento opera através da aplicação de campos eletromagnéticos (Carmo, 2016). Quanto à representatividade dos produtos utilizados neste processo, a ureia é o mais usado, correspondendo a quase metade, 48,0%. Segue-se o espessante, representando cerca de 38,1%, e os corantes reativos, com 13,7%. Os corantes dispersos são os produtos químicos menos utilizados, representando apenas 0,1%. É de notar que a ureia é utilizada como solvente e agente higroscópico e facilita a transferência do corante até ao interior da fibra, local onde ocorre a reação entre o corante e o grupo hidroxilo da mesma (Carmo, 2016).

Quanto a outros produtos auxiliares utilizados neste processo, estes variam de acordo com o tipo e pigmento/corante. No caso da estamparia com pigmentos, os produtos auxiliares geralmente utilizados, para além destes, são solventes, álcalis, espessantes, ligantes, amaciadores e compostos orgânicos voláteis (Silva, 2012). No caso da estamparia com corantes reativos, corante mais representativo na Figura 18, outros produtos utilizados são sais, álcalis (por exemplo, carbonato de sódio), agentes tensoativos e agentes complexantes (Silva, 2012).

Esta análise permitiu distinguir a variedade de produtos químicos utilizados em cada etapa do processo de enobrecimento e as suas quantidades. De uma forma geral, verificou-se que a tipologia e quantidade de produtos utilizados está de acordo com o identificado na literatura para as diferentes etapas.

4.2. Consumo de água e produtos químicos por tipologia de processo de enobrecimento têxtil

Tendo em conta que as empresas em estudo representam diferentes tipologias de processos de enobrecimento têxtil, foi feita uma comparação dos consumos de água e produtos químicos entre empresas que realizam a mesma tipologia de processos. Nesta secção serão comparados os dados das empresas que realizam um ou mais processos em comum, nomeadamente, o tingimento de rama e fio, tingimento de fio e felpo, tingimento de malha, tingimento de tecido, tingimento de peça confeccionada, estamparia convencional e estamparia digital. As secções seguintes apresentam uma análise comparativa dos consumos específicos de água e produtos químicos em empresas que contêm estes processos em comum. Estes foram determinados de acordo com as Equações (1) e (2), respetivamente:

$$\begin{aligned} \text{Consumo específico de água}_{\text{Processo } x; \text{ Empresa } y} (\text{L/kg}) \\ = \frac{\text{Consumo anual de água}_{\text{Processo } x; \text{ Empresa } y} (\text{L})}{\text{Produção anual}_{\text{Processo } x; \text{ Empresa } y} (\text{kg})} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{Consumo específico de produtos químicos}_{\text{Processo } x; \text{ Empresa } y} (\text{g/kg}) \\ = \frac{\text{Consumo anual de produtos químicos}_{\text{Processo } x; \text{ Empresa } y} (\text{g})}{\text{Produção anual}_{\text{Processo } x; \text{ Empresa } y} (\text{kg})} \end{aligned} \quad (2)$$

4.2.1. Tingimento de rama e fio

São duas as empresas que realizam nas suas instalações os processos de tingimento de rama e fio, correspondendo estas à GT09 e GT10. Para estas empresas verificaram-se produções anuais de rama e fio de 2 222 456 kg e 98 208 kg, respetivamente. Quanto aos consumos de água no enobrecimento destas estruturas, verificou-se que a empresa GT09 consumiu 445 287 m³ de água no tingimento de rama e fio, e a empresa GT10 consumiu 9 685 m³. Com estes dados, obteve-se um consumo específico de água de 200,4 L/kg para a empresa GT09, que corresponde a mais do dobro do consumo específico de água observado para a empresa GT10, que apresenta um consumo específico de água de 98,6 L/kg em processos de tingimento de rama e fio (ver Figura 19).

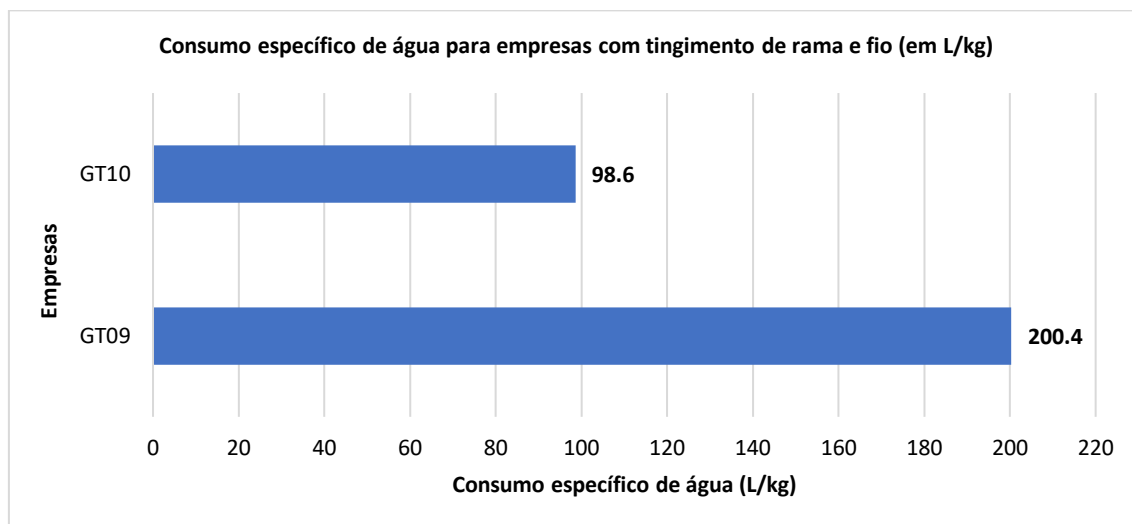


Figura 19. Consumo específico de água observado no tingimento de rama e fio.

O maior consumo específico de água observado para a empresa GT09 poderá estar relacionado com as fibras processadas por esta empresa. De acordo com o levantamento realizado, sabe-se que 86% do total de rama e fio processados pela empresa GT09 correspondem a misturas de fibras contendo maioritariamente fibras celulósicas, enquanto a maioria da produção de fibra e fio na empresa GT10, cerca de 66%, corresponde a fibras proteicas, nomeadamente lã (ver Tabela I.1 apresentada nos

Anexos). De acordo com a literatura, o tingimento de fibras celulósicas resulta num maior consumo de água, uma vez que o tipo de os corantes utilizados para tingir estas fibras, corantes reativos, exigem um grande número de lavagens após o processo de tingimento.

Quanto ao consumo de produtos químicos, não foi possível determinar o consumo específico destes produtos nos processos de tingimento de rama e fio, uma vez que as empresas em estudo também realizam o processo de tingimento de tecido e não detêm informação desagregada sobre a quantidade de produtos químicos usados por tipo de estrutura têxtil processada. Sabe-se que, no total, o consumo de produtos químicos nas empresas GT09 e GT10 foi de 2 446 818 kg e 109 513 kg, respetivamente.

4.2.2. Tingimento de fio e felpo

O tingimento de felpo é realizado por três empresas do consórcio (GT01, GT03 e GT05), que realizam também o tingimento de fio. Embora estes processos ocorram em equipamentos diferentes (autoclave e *Jet* para o fio e felpo, respetivamente), foram analisados os consumos específicos de água e produtos químicos para o tingimento destas estruturas em simultâneo, uma vez que as empresas não conseguem desagregar os consumos de água e produtos químicos por tipo de estrutura têxtil processada. Neste caso, as estruturas processadas por estas empresas correspondem a fibras 100% celulósicas (no caso, algodão), tal como se pode observar na Tabela I.1 apresentada nos Anexos.

Relativamente às produções anuais de fio e felpo, observou-se que as empresas GT01, GT03 e GT05 registaram valores de 3 944 694 kg, 2 371 315 kg e 11 403 053 kg, respetivamente. Já os consumos de água observados foram 321 919 m³, 210 894 m³ e 927 313 m³, o que se traduz num consumo específico de 81,6 L/kg, 88,9 L/kg, 81,3 L/kg, respetivamente (ver Figura 20).

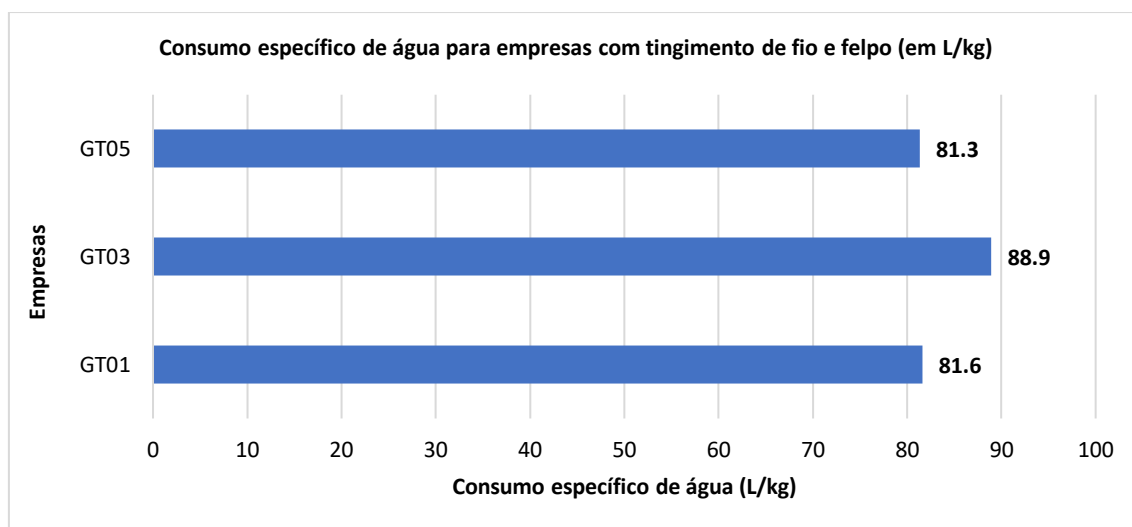


Figura 20. Consumo específico de água observado no tingimento de fio e felpo.

Pela análise da Figura 20, verifica-se que o consumo específico de água nos processos de tingimento de fio e felpo registrado para as três empresas é semelhante, o que seria de esperar tendo em conta que a tipologia de processos aplicados nestas empresas é semelhante, assim como as matérias-primas/fibras processadas. Contudo, regista-se um consumo específico ligeiramente superior na empresa GT03.

Quanto ao consumo de produtos químicos, verificaram-se valores de 1 294 010 kg, 875 012 kg e 3 369 141 kg para as empresas GT01, GT03 e GT05, respetivamente. Já o consumo específico obtido foi de 328 g/kg, 369 g/kg e 295 g/kg, respetivamente (ver Figura 21).

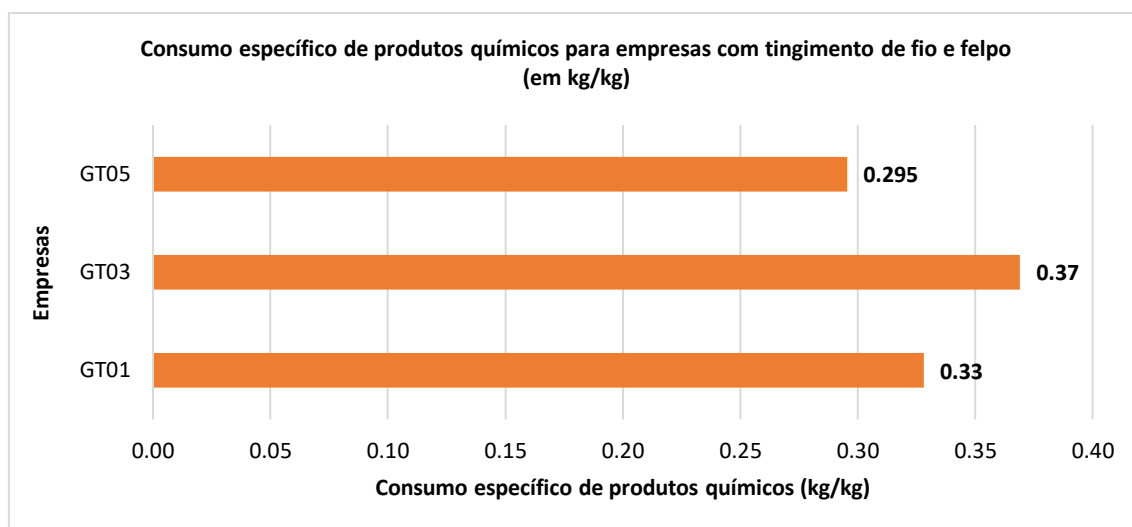


Figura 21. Consumo específico de produtos químicos observado no tingimento de fio e felpo.

Através da análise da Figura 21, observa-se que a empresa com o maior consumo específico de produtos químicos foi a empresa GT03 e que a empresa com menor consumo foi a GT05, mas próximo da GT01. Apesar de serem diferentes, pode-se considerar que os consumos específicos de produtos químicos não diferem significativamente entre as empresas, o que poderá estar relacionado com o tipo de processos e fibras utilizados, que são idênticos. Por último, estes dados apresentam uma tendência equivalente aos dados obtidos para o consumo específico de água, denotando uma relação de proporcionalidade direta entre o consumo de água e de produtos químicos nos processos de tingimento de fio e felpo.

4.2.3. Tingimento de malha

O tingimento de malha é o processo mais aplicado pelas empresas que constituem o consórcio do projeto GIATEX, sendo elas a GT02, GT04, GT08, GT11 e GT12. Quanto ao tipo de fibra que processam, verifica-se que as empresas GT11 e GT12 trabalham com fibras 100% celulósicas. As restantes empresas também trabalham maioritariamente com fibras celulósicas, sendo a sua representatividade 55%, 91% e 85% para a GT02,

GT04 e GT08, respetivamente (ver Tabela I.1 nos Anexos). À semelhança do que foi apresentado nas secções anteriores, foram determinados os consumos específicos de água e produtos químicos nos processos de tingimento em malha aplicados por estas empresas. Os dados utilizados para a determinação destes consumos são apresentados na Tabela 8 e os consumos específicos de água e produtos químicos para as cinco empresas são apresentados nas Figuras 22 e 23, respetivamente.

Tabela 8. Produção anual e consumos de água e produtos químicos observados no tingimento de malha

Empresas	Produção anual (kg)	Consumo de água (m ³)	Consumo de produtos químicos (kg)
GT02	1 160 571	123 489	723 090
GT04	248 829	69 532*	313 178*
GT08	2 371 920	391 520	1 242 097
GT11	1 749 813	325 361	1 487 447
GT12	3 935 059	478 526	2 373 903

* Valores obtidos no processamento de estruturas em malha e tecido.

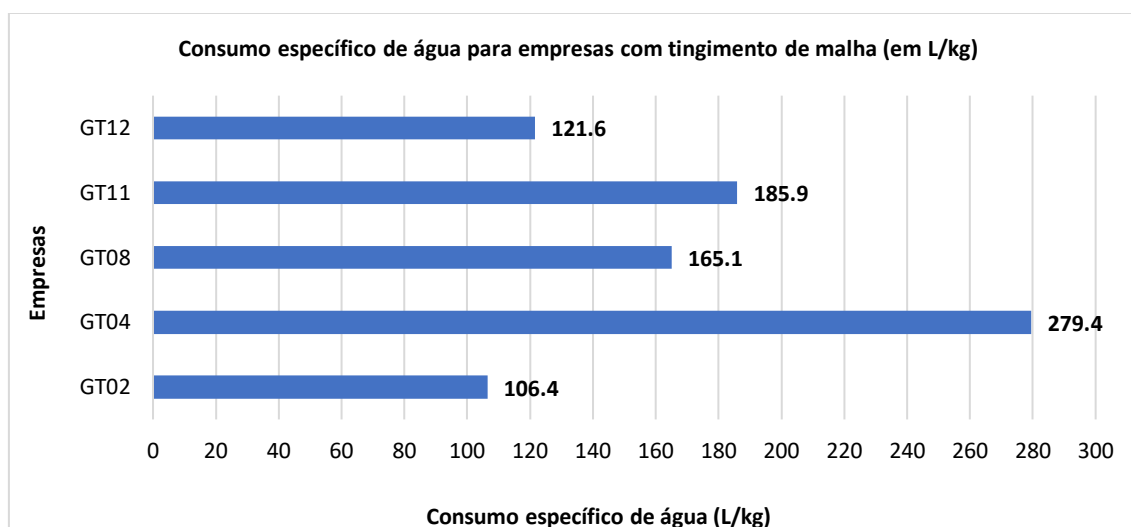


Figura 22. Consumo específico de água observado no tingimento de malha.

Pela análise da Figura 24, verifica-se que a empresa GT04 apresenta um consumo específico de água significativamente maior que as restantes empresas. Este resultado pode estar relacionado com o facto de esta empresa processar também estruturas em tecido e não conseguir obter os dados de consumo de água e produtos químicos exclusivamente para o tingimento de malha. Quanto às restantes empresas, verificam-se consumos específicos de água que variam entre 106,4 L/kg e 185,9 L/kg.

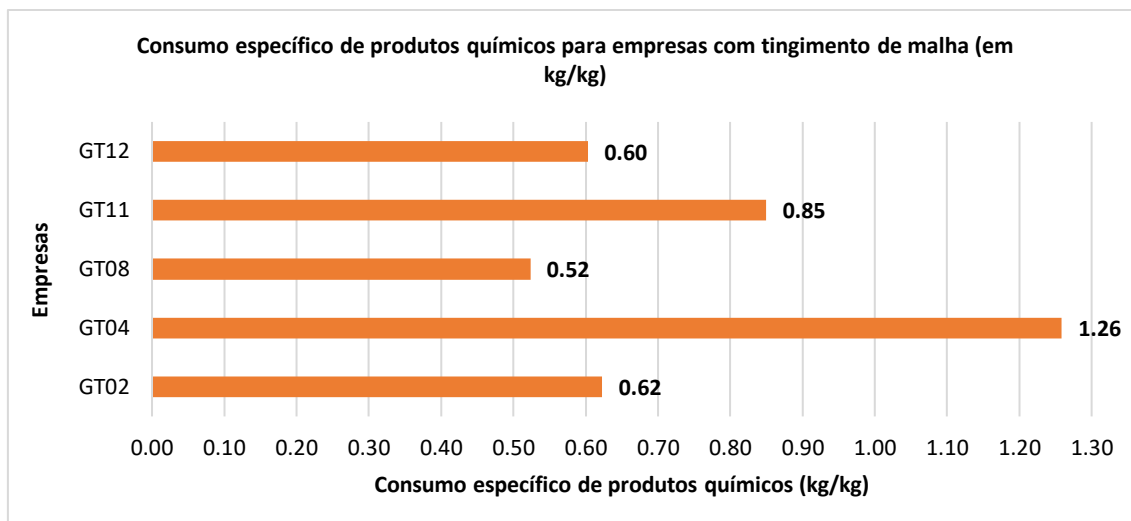


Figura 23. Consumo específico de produtos químicos observado no tingimento de malha.

Relativamente ao consumo específico de produtos químicos, verifica-se que o maior consumo específico, 1 259 g/kg, corresponde à empresa GT04, pelas mesmas razões que as apresentadas anteriormente para o consumo específico de água. Já os consumos específicos das restantes empresas variam entre 524 g/kg e 850 g/kg. Tal como observado para o tingimento de felpo, verifica-se, de uma forma geral, que as empresas que apresentam maiores consumos específicos de água são também as que apresentam maiores consumos específicos de produtos químicos, e vice-versa, o que demonstra que existe também uma proporcionalidade direta entre a quantidade de água e produtos químicos consumidos nos processos de tingimento de malha.

4.2.4. Tingimento de tecido

Quanto ao tingimento de tecido, as empresas que realizam este processo são as empresas GT06, GT07, GT09 e GT10, sendo que as duas últimas realizam também os processos de tingimento de rama e fio, Secção 4.2.1. Quanto às fibras processadas, de acordo com a Tabela I.1 apresentada nos Anexos, 100% do tecido processado pelas empresas GT06 e GT07 é constituído por fibras celulósicas. No caso da empresa GT09, 62% da sua produção de tecido corresponde a misturas de fibras, 28% a fibras celulósicas e 10% a fibras sintéticas. Por último, a totalidade da produção de tecido da empresa GT10 corresponde a misturas de fibras.

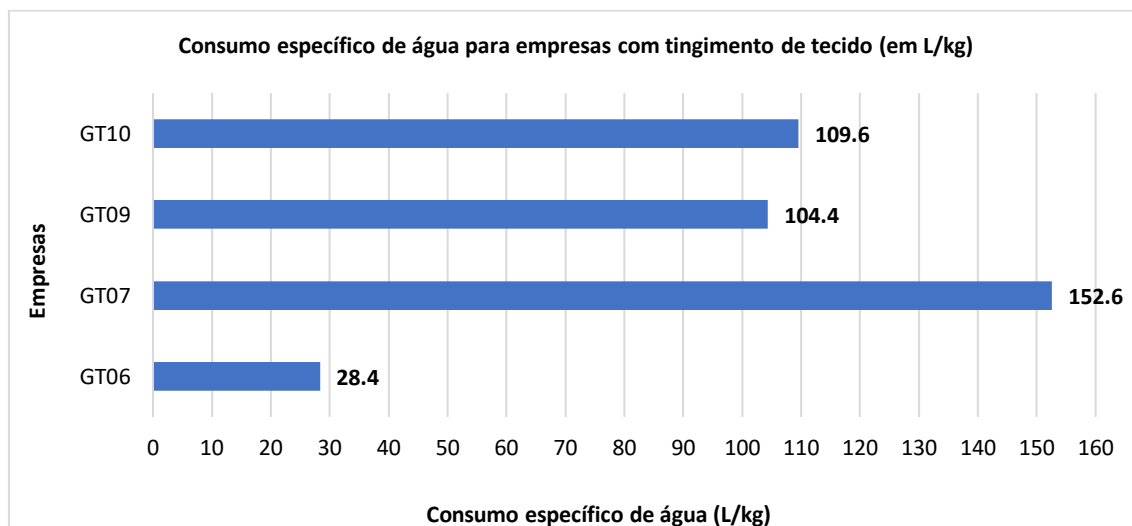
Relativamente aos consumos específicos de água e produtos químicos, na Tabela 9 são apresentados os dados de produção e consumos observados para as quatro empresas no processo de tingimento de tecido.

Tabela 9. Produção anual e consumos de água e produtos químicos observados no tingimento de tecido

Empresas	Produção anual (kg)	Consumo de água (m ³)	Consumo de produtos químicos (kg)
GT06	915 716	26 006*	185 492
GT07	2 144 227	327 166	746 407**
GT09	3 673 245	383 314	2 446 818***
GT10	291 707	31 970	109 513***

* Valor relativo ao consumo de água no tingimento e na estamparia digital; ** Valor relativo ao consumo de produtos químicos no tingimento de fio e tecido; *** Valores relativos ao consumo de produtos químicos no tingimento de rama, fio e tecido.

Com os dados obtidos, determinaram-se os consumos específicos de água nas quatro empresas, sendo os resultados apresentados na Figura 24.

**Figura 24.** Consumo específico de água observado no tingimento de tecido.

De acordo com os dados apresentados na Figura 24 verifica-se que os consumos específicos de água determinados para o tingimento de tecido variam significativamente de empresa para empresa. O menor valor, 28,4 L/kg, foi determinado para a empresa GT06. Este valor deverá ser ainda ligeiramente inferior, uma vez que o consumo de água utilizado para o cálculo contém ainda a água que é consumida no processo de estamparia digital (que deverá ser um valor residual) (Pereira, 2015). O valor tão baixo associado a esta empresa poderá estar relacionado com o tipo de processo aplicado. Trata-se de uma empresa com poucas máquinas, em que o tingimento é maioritariamente realizado em *Jigger*, com uma relação de banho bastante reduzida. Seguem-se as empresas GT09 e GT10, que apresentam consumos específicos de 104,4 L/kg e 109,6 L/kg, respetivamente. Os consumos específicos apresentados para estas empresas são semelhantes, uma vez que ambas processam maioritariamente tecidos à

base de misturas de fibras. Por último, a empresa GT07 apresenta um consumo específico de água significativamente maior que as restantes, 152,6 L/kg, que poderá estar relacionado com o facto de se tratar de uma grande empresa, com uma grande variedade de processos de pré-tratamento, tingimento e acabamento de tecido e cuja produção é composta exclusivamente por fibras celulósicas.

Quanto ao consumo específico de produtos químicos, apenas se determinou este valor para empresa GT06, uma vez que para as restantes empresas não foi possível obter os dados de consumo de produtos químicos destinados exclusivamente ao processo de tingimento de tecido. Para esta empresa, verificou-se que o consumo específico de produtos químicos no tingimento de tecido é 203 g/kg. Como esta empresa apresentou um consumo específico de água muito baixo em comparação com as restantes, o consumo específico de produtos químicos determinado poderá não ser representativo da realidade das restantes empresas.

4.2.5. Tingimento de peça confeccionada

A empresa GT11 é a única que realiza o tingimento de peça confeccionada (a qual também realiza tingimento de malha, Secção 4.2.3). Quanto à produção de peça confeccionada, a empresa totalizou um volume de produção de 238 663 kg, tendo consumido 28 113 m³ de água e 1 487 447 kg de produtos químicos. Assim, os consumos específicos de água e produtos químicos no processo de tingimento de peça confeccionada pela empresa GT11 foram de 117,8 L/kg e 6 232 g/kg, respetivamente.

4.2.6. Estamparia convencional

São apenas duas as empresas que realizam estamparia convencional, sendo elas as empresas GT04 e GT11 (para além deste processo, ambas realizam tingimento de malha, Secção 4.2.3, e a GT11 realiza ainda o tingimento de peça confeccionada Secção 4.2.5). Relativamente à produção de estampados por estamparia convencional, verificou-se que as empresas produziram 905 893 kg e 639 877 kg, respetivamente. Já os consumos de água neste processo foram de 27 813 m³ e 42 089 m³ para as empresas GT04 e GT11, o que corresponde a um consumo específico de água de 30,7 L/kg e 65,8 L/kg, respetivamente (ver Figura 25).

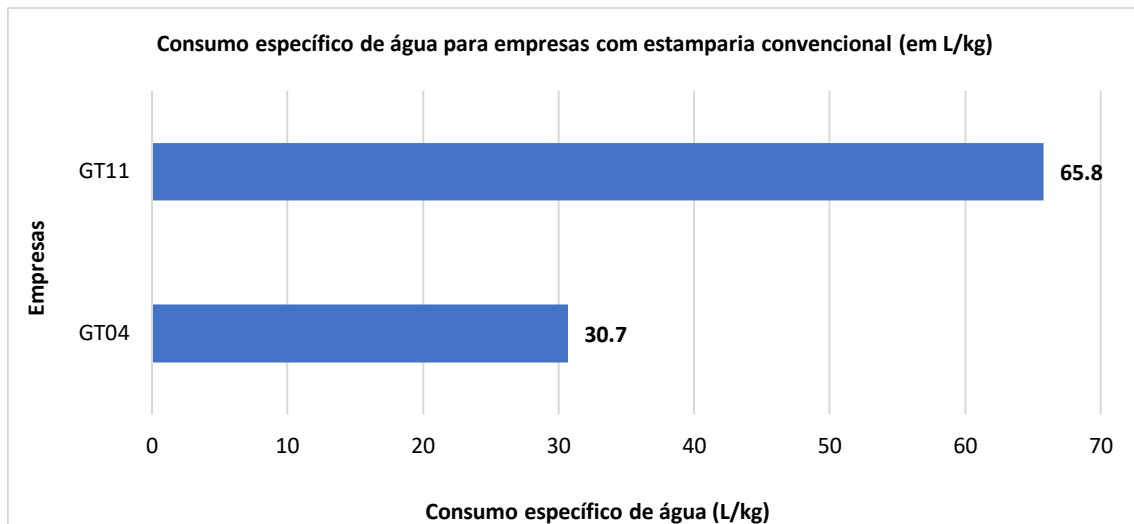


Figura 25. Consumo específico água observado em estamparia convencional.

Os valores de consumo específico de água em processos de estamparia convencional obtidos são muito diferentes entre as duas empresas, sendo superior na empresa GT11. Esta diferença pode estar associada ao facto de a empresa GT04 utilizar maioritariamente pigmentos neste processo, cerca de 83% do total de pigmentos/corantes utilizados, enquanto a GT11 utiliza maioritariamente, cerca de 65%, corantes reativos (ver Tabela I.2 apresentada nos anexos). Ao contrário das estruturas têxteis estampadas com pigmentos, as estruturas estampadas com corantes reativos necessitam de passar pelas etapas de lavagem de estampados após o processo, podendo estar aqui a razão pela qual a empresa GT11 tem um consumo específico de água significativamente maior que a empresa GT04 (Meza, 2012).

Quanto aos produtos químicos, verificou-se que as empresas GT04 e GT11 utilizaram 158 873 kg e 187 295 kg, o que corresponde a um consumo específico de 175 e 293 g/kg, respetivamente (ver Figura 26).

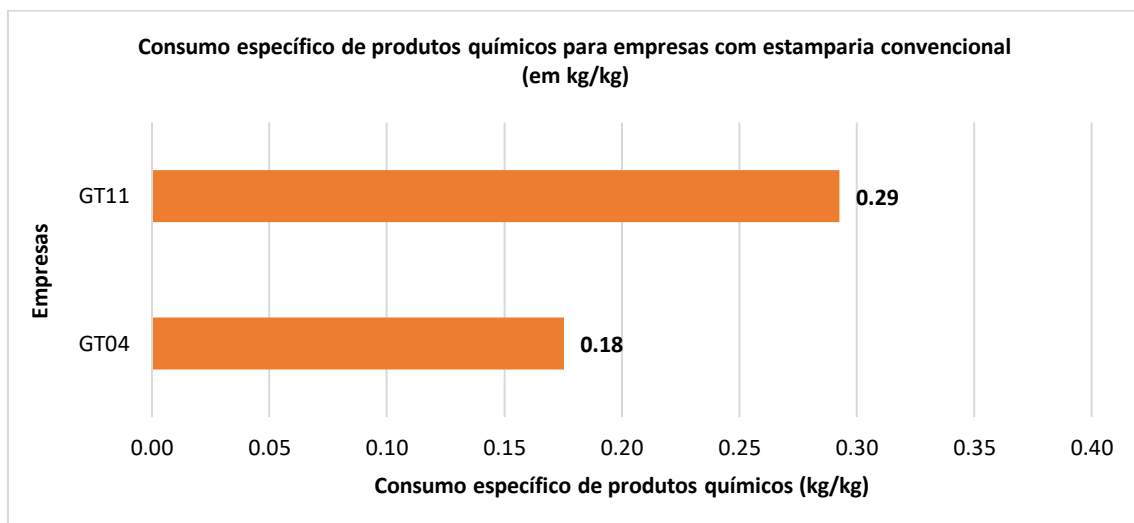


Figura 26. Consumo específico de produtos químicos em estamparia convencional.

Tal como observado para o consumo específico de água, verifica-se um maior consumo de produtos químicos na empresa GT11, o que poderá estar relacionado com a tipologia de corante maioritariamente utilizado por esta empresa (corantes reativos).

4.2.7. Estamparia digital

Das empresas em estudo, três realizam estamparia digital, sendo elas as empresas GT04, GT06 e GT11 (que efetuam ainda tingimento de malha e estamparia convencional, tingimento de tecido, e tingimento de malha, tingimento de peça confeccionada e estamparia convencional, respetivamente). Na Figura 9 é referido que são 4 as empresas que realizam este processo; contudo, a empresa GT12 apenas o começou a executar no início de 2022, ou seja, não será considerada no âmbito desta análise.

Relativamente à produção em estamparia digital, verifica-se que as empresas GT04, GT06 e GT11 produziram 430 790 kg, 112 573 kg e 353 733 kg. A esta produção esteve associado um consumo de água de 41 723 m³, 26 006 m³ e 2 106 m³, respetivamente, que se traduz em consumos específicos de água de 96,9 L/kg, 231 L/kg e 6 L/kg (apresentados na Figura 27).

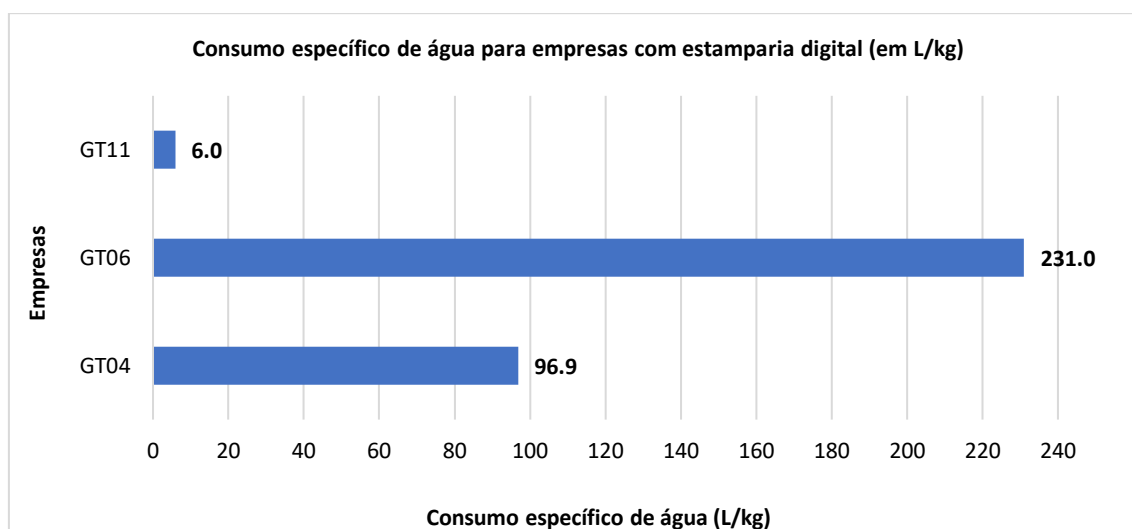


Figura 27. Consumo específico de água para empresas em estamparia digital.

Relativamente a estes dados, verifica-se um consumo significativamente mais alto para a empresa GT06. Contudo, este dado não poderá ser utilizado para comparação, uma vez que este consumo de água corresponde também ao que é consumido pela empresa para tingimento de tecido, que certamente terá uma representatividade muito superior àquilo que é utilizado no processo de estamparia digital (Pereira,2015). Comparando as empresas GT11 e GT04, verifica-se um consumo específico de água muito superior no caso da empresa GT04. Tendo em conta que ambas as empresas realizam o processo de estamparia digital maioritariamente com corantes reativos, seria de esperar consumos específicos de água mais próximos e não as discrepâncias

observadas. Contudo, estas podem justificar-se pelo facto de a empresa GT04 ter contabilizado a quantidade de água gasta durante a lavagem do tapete e das cabeças de impressão, ao contrário da empresa GT11.

Quanto aos produtos químicos, as empresas GT04, GT06 e GT11 consumiram 52 230 kg, 2 880 kg e 105 717 kg, respetivamente, o que representa consumos específicos de 126 g/kg, 26 g/kg e 299 g/kg (ver Figura 28).

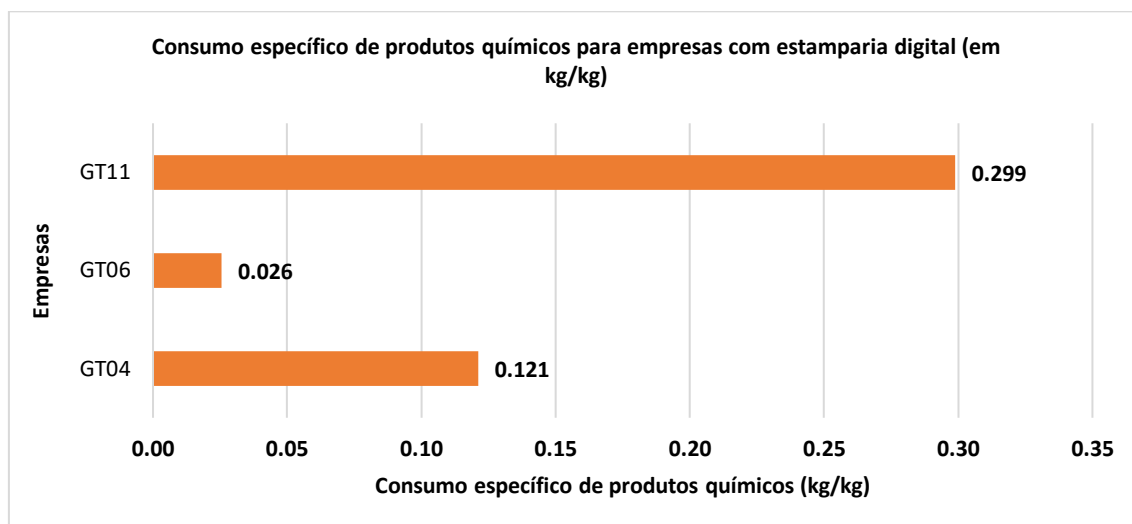


Figura 28. Consumo específico de produtos químicos em estamperia digital.

Neste caso, a empresa com menor consumo de produtos químicos é a empresa GT06. Quanto às empresas GT04 e GT11, ao contrário do que se observou para o consumo específico e água, o consumo específico de produtos químicos é significativamente maior na empresa GT11. Todas estas discrepâncias entre as diferentes empresas poderão estar relacionadas com os produtos finais obtidos, nomeadamente o grau de cobertura do estampado. De uma forma geral, estampados com maior cobertura consomem mais produtos químicos e estampados com menor cobertura utilizam uma menor quantidade.

Após esta análise entre empresas que realizam a mesma tipologia de processos de enobrecimento, foi possível estimar, em média, o consumo específico de água e produtos químicos nos diferentes tipos de processos. A Tabela 10 apresenta os consumos médios determinados, indicando o número de empresas que foram tidas em consideração para o cálculo.

Tabela 10. Consumos específicos de água e produtos químicos por tipologia de processo de enobrecimento têxtil

Processos de enobrecimento (nº de empresas consideradas)	Consumo específico de água (L/kg)	Consumo específico de produtos químicos (g/kg)
Tingimento de rama e fio (2)	150±72	n.d.
Tingimento de fio e felpo (3)	84±4	331±37
Tingimento de malha (4)	145±37	650±140
Tingimento de tecido (3)	122±27	n.d.
Tingimento de peça confeccionada (1)	118	6 232
Estamparia convencional (2)	48±25	234±83
Estamparia digital (2)	51±64	210±126

n.d.: não determinado.

Com base nesta análise, é possível verificar que o processo que apresenta maior consumo específico de água é o processo de tingimento de rama e fio (150 L/kg), seguido dos processos de tingimento de malha (145 L/kg). Estes resultados justificam-se pelo facto de estes processos se realizarem maioritariamente em descontínuo, pelo processo de esgotamento, que é conhecido pelo consumo de elevadas quantidades de água. Por outro lado, o tingimento de tecido, maioritariamente realizado em processos de tingimento em contínuo e semi-contínuo que tipicamente implicam menores consumos de água, obteve valores de consumo específico mais baixos, na ordem dos 122 L/kg. Apesar de o tingimento de fio e felpo também se realizar em modo descontínuo, o consumo específico médio das empresas do consórcio é significativamente mais baixo que o consumo específico associado aos restantes processos em descontínuo (84 L/kg). Neste caso, o tingimento de fio e felpo apresenta valores mais baixos de consumo específico de água porque nos últimos anos (ainda antes do início do projeto GIATEX) estas empresas foram confrontadas com a necessidade de reduzir os seus consumos de água, tendo feito já algum trabalho de otimização de processos nesse sentido. Quanto aos processos de estamparia, tal como seria de esperar, verifica-se que apresentam consumos específicos de água bastante inferiores aos processos de tingimento. Comparando a estamparia convencional com a digital, seria de esperar um menor consumo específico de água na última. Contudo, dada a discrepância de dados obtidos pelas empresas, não é possível tirar essa conclusão.

Por último, analisando o consumo específico de produtos químicos, o valor a salientar é o consumo específico determinado no processo de tingimento de peça confeccionada. Este valor corresponde apenas a uma empresa (a única do consórcio que realiza este processo), pelo que não é possível concluir se se trata de um valor anormal

para o tipo de processo. De salientar também o consumo excessivo de produtos químicos no tingimento de malha, cerca de 650 g/kg, o que demonstra que este processo é bastante intensivo, quer do ponto de vista do consumo de água, quer do ponto de vista do consumo de produtos químicos. Os restantes valores determinados (para os processos de estamparia convencional, digital e tingimento de fio e felpo) variam entre 210 g/kg e 331 g/kg, sendo os valores mais baixos obtidos nos processos de estamparia.

4.3. Parâmetros físico-químicos dos efluentes têxteis

Nesta secção são analisados os parâmetros físico-químicos dos efluentes têxteis gerados pelas empresas em estudo, à exceção das empresas GT02 e GT08, uma vez que estas não disponibilizaram as caracterizações dos seus efluentes em tempo útil. Na Tabela 11 encontram-se os valores de caracterização dos efluentes de cada empresa para os parâmetros pH, CBO₅, CQO, SST, condutividade, azoto total e fósforo total. A Tabela 12 apresenta os valores médios obtidos por parâmetro, bem como os valores típicos de cada parâmetro encontrados da literatura, que permitirá comparar as características dos efluentes das 12 empresas com estes.

Tabela 11. Parâmetros de qualidade dos efluentes gerados pelas diferentes empresas relativos ao ano de 2021

Parâmetros	GT01	GT02	GT03	GT04	GT05	GT06	GT07	GT08	GT09	GT10*	GT11	GT12*
pH	8,8	-	7,7	8,4	8,7	7,1	8,3	-	8,1	6,8	8,5	7,9
CBO ₅ (mg/L O ₂)	137	-	119	136	166	37,3	81,0	-	156	630	142	404
CQO (mg/L O ₂)	308	-	288	612	832	790	676	-	463	1580	502	1551
CBO ₅ /CQO	0,44	-	0,41	0,22	0,20	0,05	0,12	-	0,34	0,40	0,28	0,26
SST (mg/L)	36,5	-	31	68,3	79	211	31,1	-	70,3	76,0	74,2	791
Condutividade (μS/Cm)	3158	-	2238	2213	2480	370	2638	-	4650	n.d.	n.d.	n.d.
Azoto Total (mg/L N)	18	-	n.d.	n.d.	15,5	n.d.	11,7	-	n.d.	47,6	75,0	n.d.
Fósforo Total (mg/L P)	8,2	-	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	4,1	-	n.d.	n.d.	<0,5	n.d.

* Ano de referência: 2022; n.d.: não determinado.

Tabela 12. Valor médio dos parâmetros de qualidade dos efluentes gerados pelas diferentes empresas e comparação com as gamas de valores reportadas na literatura para estes parâmetros

Parâmetros	Gama de valores observada nas 12 empresas	Valores de referência	
		(CITEVE, 2012)	(Roth et al., 2023)
pH	6,8 – 8,8	4,7 – 11,8	n.d.
CBO ₅ (mg/L O ₂)	81,0 – 630	9,0 – 2 580	0,55 - 8 150

Tabela 12. (Continuação)

Parâmetros	Gama de valores observada nas 12 empresas	Valores de referência	
		(CITEVE, 2012)	(Roth et al., 2023)
CQO (mg/L O ₂)	288 – 1580	102,0 – 11 000	54,0 - 29 200
SST (mg/L)	31 – 211	3,0 – 2 500	0,21 - 54 000
Condutividade (µS/Cm)	0,37 – 4,65	0,2 – 11,9	n.d.
Azoto Total (mg/L N)	11,7 – 75,0	3,3 – 73,0	5,5 - 2 790
Fósforo Total (mg/L P)	<0,5 – 8,2	2,0 – 5,6	0,24 - 77,0

n.d.: não determinado.

Pela análise da Tabela 11, verifica-se que os valores de pH dos efluentes das 12 empresas são relativamente próximos entre si, não havendo variações muito significativas. De uma forma geral, verifica-se que os efluentes destas empresas são alcalinos. Sabe-se que no STV, os processos que mais contribuem para o aumento do pH nas águas residuais resultantes da sua atividade são o branqueamento, o tingimento e o acabamento, processos recorrentes nas empresas em estudo, daí os valores elevados de pH obtidos (Ferreira, 2021).

No que diz respeito à CBO₅ e CQO, a desengolagem é o processo que mais contribui para os níveis tanto de CBO₅ como de CQO nos efluentes têxteis, sendo que no caso do último, também a lavagem e tingimento de fibras sintéticas pode aumentar os seus níveis, como já tinha sido referido na Secção 2.4.3.2 (Bisschops & Spanjers, 2003; Roth et al., 2023). Uma vez que as empresas integrantes do consórcio realizam estes processos, os níveis de CBO₅ e CQO obtidos (com médias de 201 e 760 mg/L O₂) são facilmente justificáveis. Contudo, pode considerar-se que estes processos não são realizados intensivamente por estas empresas, uma vez que em alguns casos estes valores podem ser consideravelmente maiores (tal como referenciado nos valores da literatura compilados na Tabela 12). Para além do tipo de processo executado pelas empresas, os valores de CBO₅ e CQO permitem avaliar a biodegradabilidade da matéria orgânica presente nas águas residuais (através da razão CBO₅/CQO). Caso esta razão seja superior a 0,5 (elevada), isto significa que a fração biodegradável presente no efluente é elevada, ou seja, é viável a aplicação de tratamento biológico. Se a razão estiver compreendida entre 0,3 e 0,5 (intermédia), significa que a fração inerte ou não biodegradável do efluente em questão é elevada, devendo ser efetuados estudos para determinar a praticabilidade da aplicação de tratamentos biológicos no mesmo. Tal como seria de esperar, os efluentes resultantes das 12 empresas apresentam níveis de biodegradabilidade reduzidos (razão CBO₅/CQO média de 0,26). Isto justifica-se pelo facto de a maioria dos produtos químicos utilizados nos processos de enobrecimento

têxtil serem concebidos para manterem as suas propriedades ao longo do ciclo de vida dos artigos têxteis e assim apresentarem elevada durabilidade. Por outras palavras, estes produtos são tipicamente recalcitrantes, isto é, difíceis de biodegradar. Sabe-se ainda que a utilização de corantes, tensoativos, estabilizantes (entre outros produtos), contribuem para a presença de materiais não biodegradáveis nos efluentes e, por isso, para o aumento dos valores de CQO, pelo que a análise do efluente da empresa GT05 é um indicativo de que esta deverá ser a empresa que utiliza este tipo de produtos em maiores quantidades (Monte et al, 2016). De facto, esta hipótese confirma-se pela quantidade de produtos químicos utilizados por esta empresa, tal como previamente apresentado na Secção 4.1, Figura 13.

Quanto aos SST, os valores reportados nas 12 empresas encontram-se dentro da gama de valores esperada. Contudo, nota-se uma grande variabilidade neste parâmetro, que oscila entre 31 mg/L e 791 mg/L.

Em termos da condutividade, verifica-se que estes valores são coerentes entre as diferentes empresas, apresentando um valor médio de 2535 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Considerando este valor, é possível concluir que, de forma geral, estes efluentes contêm uma quantidade de sal moderada quando comparada com as quantidades encontradas em outros efluentes reportados na literatura.

Para o azoto e fósforo totais, foram poucas as empresas que forneceram informações acerca destes parâmetros. Analisando os valores de azoto total, verifica-se que os valores obtidos nas empresas do consórcio se encontram dentro das gamas encontradas na literatura. Contudo, é de salientar o elevado valor obtido para a empresa GT11, que poderá estar relacionado com o tipo de processos que realiza. Tendo em conta que esta empresa se dedica, entre outros processos, ao processo de estamparia digital, um processo que requer um pré-tratamento especial onde são aplicadas elevadas concentrações de ureia, a elevada concentração de azoto na água residual desta empresa pode estar relacionada com este processo (Roth et al., 2023). Por último, a análise ao fósforo total demonstra que as empresas que o monitorizam se encontram dentro daquilo que seria expetável para este parâmetro.

Em suma, pela análise da Tabela 12, verifica-se que, de uma forma geral, os parâmetros analisados nas 12 empresas se encontram dentro da gama de valores tipicamente reportada para este tipo de efluentes na literatura.

5. Conclusões e sugestões de melhoria para redução dos impactos ambientais em processos de enobrecimento têxtil

Neste capítulo apresentam-se as principais conclusões deste estudo, bem como um conjunto de sugestões de melhoria para o desempenho ambiental dos processos de enobrecimento têxtil ao nível do consumo de água e produtos químicos.

5.1. Conclusões gerais

O trabalho desenvolvido insere-se no projeto GIATEX e tinha como objetivo fazer uma caracterização ambiental dos processos de enobrecimento têxtil nas 12 empresas do consórcio, a fim de avaliar o seu consumo de água e produtos químicos e, consequentemente, os impactos ambientais associados aos seus processos. Para esta caracterização foi feito um inquérito às empresas, o qual permitiu identificar o tipo de processos que as empresas realizam, as suas produções e os seus consumos de água e produtos químicos.

Quanto ao tipo de processos que realizam, verificou-se que 4 empresas realizam a preparação ao tingimento em contínuo (*pad-steam*) e em semi-contínuo (*pad-batch*). Além disso, quase todas têm processos de preparação em descontínuo, nomeadamente em *jet*. Verifica-se também que o acabamento em râmula é o único processo que é efetuado pelas 12 empresas do consórcio. Ao nível do tingimento propriamente dito, embora todas as empresas realizem pelo menos um tipo de tingimento, o tingimento em descontínuo em *jet* é comum a 11 das 12 empresas. Dentro da categoria da estamparia, observou-se que são 3 as empresas que realizam estamparia digital e 2 as que realizam estamparia convencional. Relativamente aos produtos que processam, verificou-se que o tecido é o mais comum, com 8 das empresas a processarem esta estrutura. Por outro lado, apenas 1 das empresas processa peça confeccionada.

Quanto às produções, consumos de água e produtos químicos observados nas 12 empresas, determinaram-se os seguintes valores: (i) produção total entre 1 028 289 kg e 11 403 053 kg; (ii) consumo de água entre 26 006 m³ e 927 313 m³; e (iii) consumo de produtos químicos entre 109 513 kg e 3 369 141 kg. De uma forma geral, verificou-se que quanto maior a produção das empresas, maior é o seu consumo de água e produtos químicos, podendo dizer-se que há uma relação de proporcionalidade direta entre estes parâmetros. Em termos de consumos específicos de água e produtos químicos, verificou-se que a média das 12 empresas ronda os 101 L/kg e os 390 g/kg,

respetivamente, estando, por isso, de acordo com a gama de valores que as empresas deste setor normalmente apresentam.

Da análise dos consumos de água, foi possível concluir também que, de todas as empresas, apenas a GT06 e a GT10 apresentam valores inferiores aos tipicamente reportados para as empresas do STV, e apenas as empresas GT05 e a GT09 apresentam valores superiores.

Quanto ao tipo de produtos químicos utilizados em cada fase do enobrecimento têxtil, de uma forma geral, constatou-se que os produtos químicos mais utilizados na preparação ao tingimento são os detergentes/ensaboadores, no tingimento o sal, e nos acabamentos o amaciador, mais especificamente 44,6%, 73,7% e 62,7%, respetivamente. Quanto aos processos de estamparia, tal como seria de esperar, verificou-se uma diversidade muito menor de produtos utilizados. Quanto aos mais representativos, verificou-se que em estamparia convencional, o produto químico que normalmente mais se utiliza é o fixador, neste caso 50,6%, e em estamparia digital é a ureia, com cerca de 48,0%. De uma forma geral, é possível concluir que a tipologia e quantidade de produtos utilizados está de acordo com o identificado na literatura para as diferentes etapas.

Fazendo uma desagregação dos consumos específicos de água e produtos químicos por tipologia de processo de enobrecimento, verificou-se que o tipo de tingimento que apresenta maior consumo específico de água é o de rama e fio, em média 150 L/kg, enquanto o que apresenta o menor consumo específico de água é o de fio e felpo, cerca de 84 L/kg. A mesma tendência se verificou ao nível do consumo específico de produtos químicos, com o valor mais alto (650 g/kg) obtido para o tingimento de malha e o valor mais baixo obtido para o tingimento de fio e felpo (331 g/kg), isto se não considerarmos o consumo excessivo obtido para o tingimento de peça confeccionada, 6 232 g/kg, uma vez que este valor resulta da análise a uma empresa apenas. Quanto aos processos de estamparia, verificou-se que os consumos específicos de água e produtos químicos são inferiores aos observados nos processos de tingimento (na ordem dos 50 L/kg e 200 g/kg, respetivamente), o que tem a ver com a natureza destes processos, que, por si só, resultam num menor consumo destes recursos.

Por último, fazendo uma análise à composição dos efluentes gerados por estas empresas, é possível concluir que, de uma forma geral, os parâmetros analisados (pH, CBO₅, CQO, SST, condutividade, azoto total e fósforo total) nas 12 empresas se encontram dentro da gama de valores tipicamente reportada para este tipo de efluentes na literatura. Estes são alcalinos, maioritariamente devido às etapas de branqueamento, tingimento e acabamento, apresentam níveis de CBO₅ baixos e níveis de CQO elevados, o que denotam uma baixa biodegradabilidade, apresentam uma concentração de sólidos suspensos totais moderada a elevada e ainda uma condutividade moderada a elevada devido às quantidades de sal utilizadas no processo de tingimento.

Dados os resultados obtidos, é visível que as empresas que integram o consórcio apresentam consumos de água e produtos químicos semelhantes aos tipicamente reportados na literatura. Contudo, trata-se de consumos elevados, que devem ser reavaliados e minimizados. Isto porque a água é um bem cada vez mais escasso no nosso planeta e os produtos químicos utilizados atualmente derivam maioritariamente do petróleo, um combustível fóssil cuja utilização está associada à emissão de gases com efeito de estufa. Posto isto, é necessário adotar medidas de redução destes consumos e, a avaliar pelos resultados obtidos, dever-se-á iniciar pelos processos de tingimento de malha. A secção seguinte apresenta algumas das medidas a adotar neste sentido.

5.2. Sugestões de melhoria para redução do consumo de água e produtos químicos

Com base nos resultados obtidos e, juntamente com um trabalho de pesquisa, foi possível sugerir um conjunto de medidas e boas práticas de gestão ambiental a redução do consumo de água e produtos químicos nos processos de enobrecimento têxtil, que, no global, contribuirão para a melhoria do desempenho ambiental das empresas do STV.

A fim de melhorar o desempenho ambiental global de uma empresa deste setor, devem ser aplicadas as Melhores Técnicas Disponíveis (MTD), em inglês *Best Available Techniques* (BAT) para o setor. Estas técnicas incluem técnicas gerais de gestão, nomeadamente a elaboração e implementação de um Sistema de Gestão Ambiental (SGA), a realização de inventários de fluxos de entrada e de saída e a monitorização e controlo de parâmetros operacionais.

Pensando especificamente na redução do consumo de água e produtos químicos em processos de enobrecimento têxtil, as medidas a adotar podem agrupar-se em diferentes categorias: (i) medidas de monitorização; (ii) medidas de gestão e de eficiência hídrica; e (iii) medidas de gestão, consumo e substituição de produtos químicos.

As medidas de monitorização são essenciais para promover a utilização de recursos nos processos de enobrecimento têxtil. Estas medidas incluem a monitorização dos seguintes parâmetros:

- Consumo anual de água e materiais utilizados no processo, incluindo materiais têxteis e produtos químicos;
- Quantidade anual de águas residuais geradas e respetiva composição;
- Quantidade anual de materiais recuperados ou reutilizados;
- Quantidade anual de cada tipo de resíduos gerados e enviados para eliminação.

Estes parâmetros deverão ser monitorizados pelo menos uma vez por ano, preferencialmente através de medições diretas (por exemplo, contadores).

Nas medidas de gestão e eficiência hídrica, incluem-se as seguintes:

- Elaboração de planos de gestão da água e auditorias;
- Otimização dos processos de preparação ao tingimento (nomeadamente através da utilização de materiais têxteis com um teor mínimo de contaminantes e com necessidades de processamento reduzidas);
- Otimização da produção (nomeadamente ao nível da quantidade de banho utilizada, dos processos de lavagem e enxaguamento e dos processos de lavagem de equipamentos);
- Utilização de tecnologias de enobrecimento que utilizam pouca ou nenhuma água (por exemplo, processos de tingimento contínuos e semi-contínuos);
- Dissociação das correntes de água poluídas e não poluídas e reutilização das não poluídas;
- Redução da quantidade de outros líquidos associados ao processo e respetiva reutilização.

Por último, as medidas que poderão contribuir para a redução do consumo de produtos químicos incluem:

- Sistemas de gestão de produtos químicos;
- Seleção de produtos químicos;
- Otimização do consumo de produtos químicos;
- Recuperação e reutilização de produtos químicos;
- Sistemas automáticos de preparação, distribuição e dosagem de produtos químicos e corantes.

6. Referências

- Alkaya, E., Böğürçü, M., Ulutaş, F., & Demirer, G. (2012). Cleaner (sustainable) production in textile wet processing. In: Nemr, A.E. (Ed.), Non-conventional textile wastewater treatment. Nova Science Publishers, Inc., pp. 205-229.
- Alves, M. (2019). Fibra: seus diferentes significados, tipos e principais características. Disponível em: <https://agro20.com.br/fibra/>.
- Antunes, M.I.S. (2019). Hidrólise de corantes reativos. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho.
- Araújo, M.; Castro, E.M.M. (1986). Manual de Engenharia Têxtil. Fundação Calouste Gulbenkian, pp. 1-100.
- AUDACES (2023). Quando usar estampa rotativa? Disponível em: <https://audaces.com/pt-br/blog/estamparia-rotativa>.
- Barros, M.A.G. (2018). Limpeza e branqueamento de têxteis de algodão em cru usando nanopartículas fotossensíveis. Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto.
- Beltrame, L.T.C. (2000). Caracterização de efluente têxtil e proposta de tratamento. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- Bezerra, R.N. (2017). Estamparia digital em algodão 100%: Estudo sobre o efeito dos produtos químicos utilizados no processo de preparação de tecidos em estampas com corantes reativos. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo.
- Bisschops, I.; Spanjers, H. (2003). Literature review on textile wastewater characterisation. Environmental technology, 24(11), pp. 1399-1411.
- Carmo, S.N. (2016). Acabamentos funcionais têxteis aplicados por estampa digital em substratos têxteis ativados por plasma. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho.
- Castro, J.C. (2013). Tecnologia Têxtil II. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/Ezilen/tecnologia-textilbasica>.
- Cerqueira, A.A. (2006). Aplicação da técnica de eletrofloculação no tratamento de efluentes têxteis. Dissertação de Mestrado, Universidade do Estado do Rio de Janeiro.
- CETIQT (2012). Introdução ao Estudo dos Beneficiamentos Primários. Curso de Acabamento Têxtil à Distância. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/leanvgon/apostila-beneficiamentosprimriosaseco>.
- Chagas, M.A. (2009). Tratamento de efluente têxtil por processos físico-químico e biológico. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco.

- CITEVE (2012). Estudo das dificuldades das empresas do setor têxtil e vestuário no cumprimento de legislação ambiental.
- CITEVE (2022). GIATEX: Gestão Inteligente da Água na ITV. Disponível em: <https://www.citeve.pt/artigo/giatex>.
- CITEVE (2023). Propostas Ano letivo 2022/2023: Dissertação em Ambiente Empresarial (DAE), FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Cores&Tons (2022). Como é feito o tingimento de tecido? Disponível em: <https://coresetons.com.br/tingimento-de-tecido-descubra-agora/>.
- Corrêa Jr. B.; Furlan, L. (2003). Redução do consumo de água e da vazão de efluentes através do gerenciamento das fontes e reutilização de águas – a experiência de Paulínia. *Petro & Química*, 251, pp. 72-78.
- Correia, V.M.; Stephenson, T.; Judd, S.J. (1994). Characterisation of textile wastewaters- a review. *Environmental Technology*, 15(10), pp. 917-929.
- DELTA (2023). Estamparia digital x convencional. Disponível em: <https://www.deltamaquinastexteis.com.br/estamparia-digital-e-convencional/>.
- Dias, C.M.F. (2009). Design de estruturas fibrosas híbridas para aplicação técnica. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho.
- Emanuelli, L.R. (2015). Mimaki Brasil lança equipamento de impressão direta em tecido. Disponível em: <https://infosign.net.br/mimaki-brasil-lanca-equipamento-de-impressao-direta-em-tecido/>.
- Esteves, F.A. (2011). Eutrofização artificial. Em: *Fundamentos de Limnologia*, 3ª Edição. Editora Interciência, pp. 625-656.
- EUROLAB (2023). Algodão a mercerização. Disponível em: <https://www.laboratuvar.com/pt/tekstil-testleri/kimyasal-ve-ekolojik-testler/pamukta-mercerizasyon>.
- FENIX (2023). Tingimento Têxtil. Disponível em: <https://www.fenixfabril.com.br/noticia/10/tinturaria/tingimento-textil>.
- Ferreira, I.L.S. (2019). Tingimento de tecido de algodão com corantes reativos utilizando água do mar. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- Ferreira, P.T. (2021). Racionalização de consumos e otimização de processos, na indústria têxtil (roupa de cama). Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro.
- Figueiredo, J.M.; Rodrigues, F.; Correia, A.; Barros, M. (2000). Guia Técnico do Setor Têxtil. INETI.
- Fonseca, D.C.R.; Cassimiro, F.; Flores, V.G. (2013). O uso do sal como eletrólito nos processos de tingimento de fios: estudo de suas variações nos processos. Monografia de Conclusão de Curso, Faculdade de Tecnologia de Americana.

- Freitas, K.R. (2002). Caracterização e reuso de efluentes do processo de beneficiamento da indústria têxtil. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina.
- Gomes, J.I.F. (2019). Estudo comparativo de corantes reativos para algodão: gama standard versus ecológica, tingimento, controlo de qualidade e ensaios de solidez. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho.
- Gomes, J.I.N.R. Tingimento. Curso Química da Qualidade, Tingimento e Ultimação I, Universidade do Minho. Disponível em: <http://www.geocities.ws/jnrgomes/Apontamentostingimento1.pdf>.
- Gomes, P.; Santos, G.; Ferreira, F.; Carvalho, M.; Blattmann, S. (2005). Tecnologia de Confeção. Manual do formando, Módulo 1, CITEVE. Disponível em: https://elearning.iefp.pt/pluginfile.php/49826/mod_resource/content/0/25614_ManualFormandoNivBasicoTecnologiaConfeccaoModulo1.pdf.
- Gümüş, D.; Akbal, F. (2011). Photocatalytic degradation of textile dye and wastewater. Water, Air, & Soil Pollution, 216, pp. 117-124.
- Holmberg, K.; Jönsson, B.; Kronberg, B.; Lindman, B. (2002). Polymers in aqueous solution. Wiley-Blackwell.
- Jesus, S.A.R. (2011). Novas bases têxteis para novas exigências sociais: A sustentabilidade das fibras sintéticas. Dissertação de Mestrado, Universidade Técnica de Lisboa.
- JFA (2023). Tinturaria. Disponível em: <https://www.jfa.pt/pt/a-empresa/tinturaria/>.
- JH (2023). Tinturaria. Disponível em: <http://jhtinturaria.com.br/Servi%C3%A7os.html>.
- Ledakowicz, S.; Gonera, M. (1999). Optimisation of oxidants dose for combined chemical and biological treatment of textile wastewater. Water Research, 33(11), pp. 2511-2516.
- Lopes, L.C. (2009). Controle metrológico da cor aplicado à estamparia digital de materiais têxteis. Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.
- Martins, H.C. (2014). Estudo sobre os processos de coagulação, floculação e decantação em efluentes oriundos de usina canavieira. Dissertação de Mestrado, Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- Melo, A.R. (2005). Otimização do reuso de água em lavadores contínuos da indústria têxtil. Dissertação de Mestrado, universidade Federal de Santa Catarina.
- Meza, C.M.M. (2012). Produção mais limpa e otimização do tratamento de efluentes líquidos de estamparias em Brusque e Guabiruba. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina.

- Monserat, R. (2015). Processos de estamparia. Disponível em: <https://blogsigbol.wordpress.com/2015/10/27/processos-de-estamparia/>.
- Monte, H.M.; Santos, M.T.; Barreiros, A.M.; Albuquerque, A. (2016). Tratamento de águas residuais: operações e processos de tratamento físico e químico. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- Nitschke, M.; Pastore, G.M. (2002). Biossurfactantes: propriedades e aplicações. Química nova, 25, pp. 772-776.
- Nogueira, E.M.C. (2016). Orientação empreendedora e internacionalização: o estudo de caso de uma empresa do setor têxtil e vestuário. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho.
- Parisi, M.L.; Fatarella, E.; Spinelli, D.; Pogni, R.; Basosi, R. (2015). Environmental impact assessment of an eco-efficient production for coloured textiles. Journal of Cleaner Production, 108, pp. 514-524.
- Pereira, G.S. (2010). Introdução à tecnologia têxtil. Curso têxtil em malharia e confecção, Módulo 2, Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina. Disponível em: https://wiki.ifsc.edu.br/mediawiki/images/7/7d/Apostila_tecnologia.pdf.
- Pereira, J.F.S. (2015). Água na indústria têxtil: características, tratamento, alternativas de economia e reuso. Monografia de Conclusão de Curso, Faculdade de Tecnologia de Americana.
- PETTENATI (2023). Estamparia rotativa. Disponível em: <https://www.pettenati.com.br/inovacao-e-performance/estamparia-rotativa/>.
- Romero, L.L.; Vieira, J.O.W.M.; Medeiros, L.A.R.; Martins, R.F. (1995). Fibras artificiais e sintéticas. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, Rio de Janeiro.
- Rosa, R.B. (2018). Impacto da composição da água residual têxtil simulada no seu tratamento com sistema de grânulos aeróbios. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico de Lisboa.
- Roth, J.; Zerger, B.; De Geeter, D.; Gómez Benavides, J.; Roudier, S. (2023). Best available techniques (BAT) reference document for the Textiles Industry, EUR 31392 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- Salem, V. (2010). Tingimento têxtil: fibras, conceitos e tecnologias. Blucher, Brasil.
- Santos, L.M.A. (2005). Técnicas laboratoriais de tinturaria. Relatório de Estágio, Universidade do Porto.
- Silva, V.G. (2012). Estudo comparativo de técnicas de estamparia têxtil. Monografia de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- TESTEX (2021). Conhecimento básico e corantes comuns de tingimento têxtil. Disponível em: <https://www.testextextile.com/pt/conhecimento-b%C3%A1sico-e-corantes->

[comuns-de-tinturaria-](#)

[t%C3%AAtil/#2 Dyeing principle color properties of dyes.](#)

TESTEX (2022). Processos de pré-tratamento de têxteis: Cingir, desgordurar, limpar, branquear, mercerizar. Disponível em:

[https://www.testextextile.com/pt/processos-de-pr%C3%A9-tratamento-de-t%C3%AAtteis-chamuscando-desengorduramento-abras%C3%A3o-branqueamento-merceriza%C3%A7%C3%A3o/#4 Bleaching.](https://www.testextextile.com/pt/processos-de-pr%C3%A9-tratamento-de-t%C3%AAtteis-chamuscando-desengorduramento-abras%C3%A3o-branqueamento-merceriza%C3%A7%C3%A3o/#4 Bleaching)

Vieira, A.I.F. (2016). Melhoria de desempenho de um processo de tingimento e acabamento de malha. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho.

Anexos

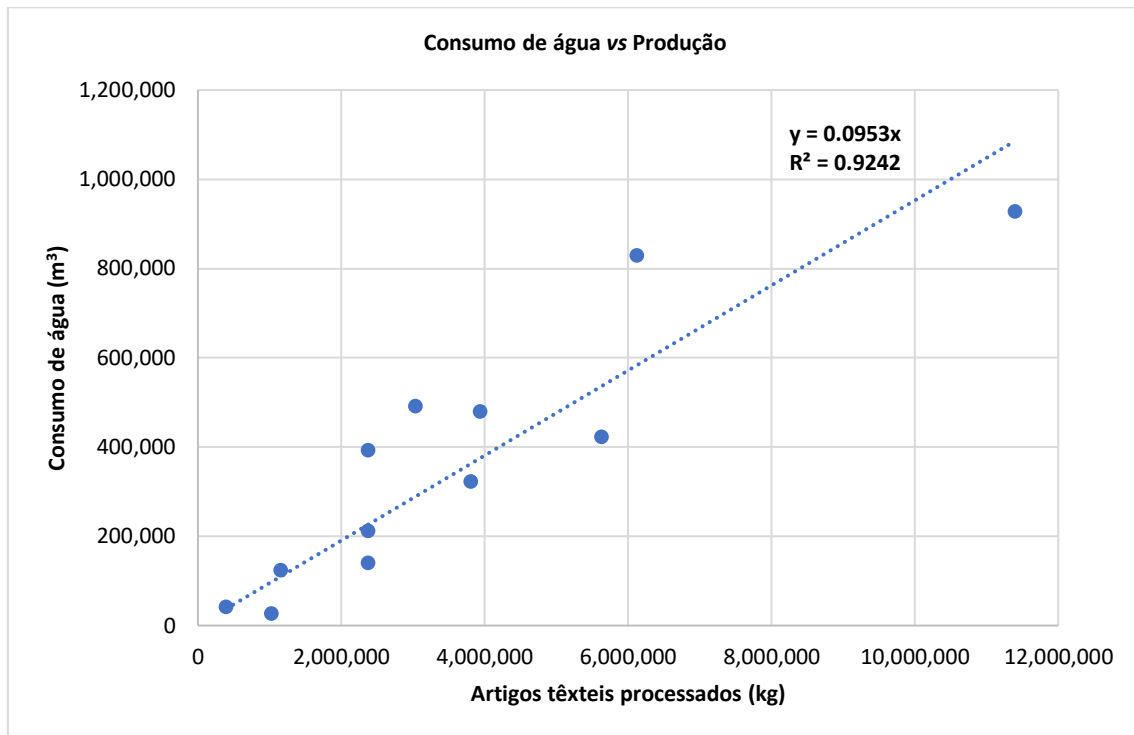


Figura I.1. Relação entre o consumo de água (em m³) e a quantidade de artigo têxtil processado (em kg).

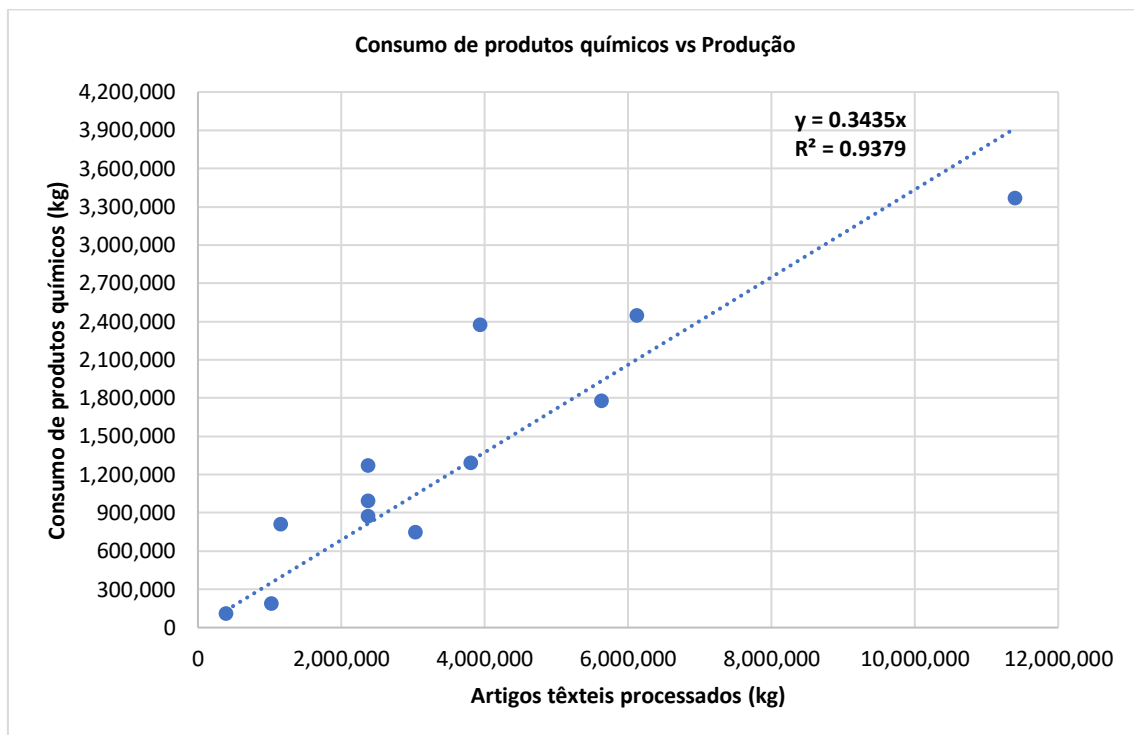


Figura I.2. Relação entre o consumo de produtos químicos (em kg) e a quantidade de artigo têxtil processado (em kg).

Tabela I.1. Tipo de fibras processadas em cada empresa por processo de tingimento

Empresas	Processo de enobrecimento	Fibras			
		Celulósicas	Proteicas	Sintéticas	Misturas
GT01	Ting. de fio e felpo	100%	-	-	-
GT02	Ting. de malha	55%	-	-	45%
GT03	Ting. de fio e felpo	100%	-	-	-
GT04	Ting. de malha	91%	-	1%	7%
GT05	Ting. de fio e felpo	100%	-	-	-
GT06	Ting. de tecido	100%	-	-	-
GT07	Ting. de tecido	100%	-	-	-
GT08	Ting. de malha	85%	-	1%	14%
GT09	Ting. de rama e fio	11%	-	3%	86%
	Ting. de tecido	28%	-	10%	62%
GT10	Ting. de rama e fio	1%	66%	5%	28%
	Ting. de tecido	-	-	-	100%
GT11	Ting. de malha	100%	-	-	-
	Ting. de peça confeccionada	-	-	100%	-
GT12	Ting. de malha	100%	-	-	-

Tabela I.2. Tipo de corantes/pigmentos aplicados em cada empresa nos processos de estamparia convencional e digital

Corantes/Pigmentos	GT04		GT06	GT11	
	Est. conv.	Est. digital	Est. digital	Est. conv.	Est. digital
Pigmentos	83%	-	-	22%	-
Corantes reativos	11%	91%	-	65%	100%
Corantes dispersos	-	-	-	3%	
Sublimação	-	9%	-	-	-
Corantes ácidos/metálicos	-	-	-	-	-
Outros (corrosão/ef. especiais)	5%	-	-	9%	-