

**Reutilização de resíduos têxteis
para irrigação por capilaridade.
Caso de estudo: Semiárido Brasileiro**

Nicéa Ribeiro do Nascimento

Tese para obtenção do Grau de Doutor em
Engenharia Têxtil
(3^o ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutora Luísa Rita Brites Sanches Salvado

agosto de 2021

Reutilização de resíduos têxteis para irrigação por capilaridade.
Caso de estudo: Semiárido Brasileiro

JÚRI

PRESIDENTE: Doutor Joaquim Mateus Paulo Serra, Vice-Reitor da Universidade da Beira Interior.

VOGAIS:

Doutor Manuel José dos Santos Silva, professor catedrático jubilado da Universidade da Beira Interior;

Doutora Ana Margarida Ribeiro Dias Fernandes Gomes Ferreira, professora associada da Universidade Europeia-IADE;

Doutora Ana Maria Moreira Ferreira Rocha, professora auxiliar da Universidade do Minho;

Doutora Luísa Rita Brites Sanches Salvado, professora auxiliar da Universidade da Beira Interior;

Doutor Nuno José Ramos Belino, professor auxiliar da Universidade da Beira Interior;

Doutor António Manuel Dinis Ribeiro Marques, professor auxiliar da Universidade do Minho.

Data de realização das provas: 22 de julho de 2021

Dedicatória

A Francisco Fachine Borges, esposo, parceiro e provedor dos meus sonhos, por sempre agir, apoiar e contribuir para que a realização desta investigação fosse constante e atenta aos conhecimentos científicos, visando os acertos; dando força e coragem nos momentos de dificuldades e insegurança no campo.

Ao nosso filho Iago Ribeiro Fachine Borges, luz do meu viver, obrigada pela compreensão com minhas ausências e com a minha tensão na finalização da investigação.

Folha em branco

Agradecimentos

À minha orientadora, Prof^a Doutora Luísa Rita Brites Sanches Salvado, pelas contribuições científicas, pela paciência e dedicação durante estes anos.

Agradecimentos especiais à Universidade da Beira Interior (UBI), na pessoa do Reitor Prof. Doutor António Fidalgo, por manter uma boa relação entre Brasil e Portugal.

Ao Departamento de Ciência e Tecnologia Têxteis, em nome do Presidente, Prof. Doutor Rui Alberto Lopes Miguel. Em atenção e respeito aos professores Doutor José Lucas Mendes e Doutor Manuel Santos e Silva.

Ao Diretor do Curso de Doutoramento em Ciência e Tecnologia Têxtil, Prof. Doutor Nuno José Ramos Belino.

Ao Engenheiro Têxtil e Mestre em Design de Moda, José António Machado, pelo acompanhamento valoroso nos laboratórios de ciência e tecnologia têxteis e no laboratório de química. À Doutora Caroline Loss pelo apoio na organização da tese e desenvolvimento das imagens dos canteiros.

Ao Departamento de Química, pela confiança depositada em mim, permitindo-me a utilização do laboratório.

A todos os meus amigos do Brasil, residentes na Covilhã e em Lisboa, com especial atenção a Jussiane Cristina, Edna Cardoso, Solange Fernandes, Alex Holanda, Renata Lúcia, Tatiana Calmon, Izabel Albuquerque, Sérgio Augusto e Pedro Albuquerque, pela experiência de convívio enriquecedor.

Aos amigos, Professor Doutor José Gabriel Trindade e sua esposa Magna por me terem informado da existência do curso desejado na UBI, e ao longo dos anos vibrado com cada passo alcançado.

Às artistas plásticas Socorro Leal e Elane Leal Martins, juntamente com seu esposo Pacelli da Rocha Martins, grande amigo; Elia e Rachel, presentes em todos os momentos; à Jajá, pelo apoio e companheirismo.

Lembrando sempre de Ana Stela de Negreiros Oliveira; Nelson Rosado; Sônia Padilha, Marlene Ribeiro; Socorro Santos e afilhadas Janua Boson e Cleonice Moraes, pelo incentivo nesta jornada tão importante para mim.

Aos amigos de longe, Marta Ferraz, André Dias, Madalena Pinto, Claudia Pinheiro, Tiago Machado e Serafim, Lucinda, Neia, pela força dada para que eu seguisse em frente.

A Saulo Ribeiro, pelo acompanhamento e abertura do espaço físico Serra Branca - São Raimundo Nonato (PI), onde pude dar impulso aos primeiros experimentos com a capilaridade, tornando-se o laboratório de testes, para ser multiplicado em novas aplicações e experiências no semiárido do Nordeste.

Aos agricultores e estudantes: Arão Mayke e Moisés Honório, da UFPI (EAD); Manuel da Silva e Erivelton, agricultores e alunos da Escola Família Agrícola Serra da Capivara.

Aos técnicos em agroecologia, Aluízio e Elias, pelas sugestões e apoio, sempre.

Ao Tião, do SERTA, pela inspiração que é a agroecologia e a luta por melhoria da qualidade de vida dos agricultores familiares do semiárido.

À Apolónia da Rede Mulheres do Pajeú, pelo grande apoio e por acreditar na nossa proposta.

Ao Laboratório Educacional de Tecnologias Sociais e Energias Renováveis (LETS), em nome do seu presidente, Flávio Luna, pela oportunidade de aplicação dos projetos em todas as comunidades onde o LETS esteve presente no Estado do Rio Grande do Norte (João Câmara, nas comunidades de Brinco de Ouro, Queimadas e Baixa do Novilho; em Parazinho, nas comunidades de Limoeiro, Limão, Pereiros, Três Irmãos, Carro Turco e Primeiro de Junho)

Ao Departamento de Engenharia Têxtil da UFRN (Laboratório Controle de Qualidade), na pessoa do Dr. Moisés Vieira; à Professora Dra. Viviane Muniz Fonseca, do mesmo departamento. À Técnica de Vestuário e Mestre Ilmara Pinheiro, que contribuiu sobremaneira para a realização dos testes com amostras de resíduos têxteis.

À Natural Cotton Color– Francisca Vieira e comunidades Margarida Alves, Campo e Santa Catarina.

À Vila Romana, por doar seus resíduos para aplicação nos projetos ao longo da investigação.

À Companhia do Corpo, em nome de Ana Lúcia, pelo total apoio na recolha dos resíduos, de forma catalogada e deixando-me à vontade até para outras aplicações artesanais em algumas comunidades.

A meus irmãos, principalmente à Josélia e Nildene pelo suporte e apoio emocional à família na minha ausência.

A todos os sobrinhos, ressaltando a Marília, Germana, Thiago França, que me acompanharam nesta busca de grandes desafios, sempre me fortalecendo e dizendo que seria possível.

Ao meu pai Nicodemos Bento, *in memorian*, que assistiu ao início dos testes na Serra Branca e que sempre me alertava sobre as cobras da região: depois de sua partida, percebi que o doutoramento me levou a passar alguns meses lá, a cada ano. Era uma despedida.

A minha mãe Julieta Ribeiro, *in memorian*, mulher forte que sempre nos ensinou a não desistir e quem mais incentivou a educação dos filhos.

Folha em branco

Resumo

No período de 2012-17, o semiárido nordestino enfrentou uma das secas plurianuais mais prolongadas da sua história. As secas agravam os problemas de convivência com o semiárido para grande parte da população de cerca de 25 milhões de habitantes, sendo que cerca de 9 milhões vivem na zona rural dos 1.262 municípios desta região. Muito já foi feito na luta pela melhoria das condições de vida desta população, como o Programa 1 Milhão de Cisternas.

No entanto, existem diversas frentes que precisam urgentemente de serem tratadas: garantir a qualidade da água; implantar sistemas de dessalinização de água salobra do subsolo; escalar o plantio de culturas resistentes à seca e tolerantes a solos ácidos e à água salobra; desenvolver políticas públicas de otimização de uso da água e do solo agricultável, de redução do desperdício de água e de alimentos e de produção e armazenamento eficiente de grãos e forragens.

Por outro lado, diversas tecnologias sociais vêm sendo desenvolvidas por inúmeras instituições, em todo o País, na procura de soluções para estes e outros problemas do semiárido, como a destinação adequada de resíduos sólidos, especialmente os plásticos não-biodegradáveis.

Neste contexto, a presente investigação tem foco em estudos que permitam o desenvolvimento de novas soluções tecnológicas a partir da utilização inédita de resíduos sintéticos de indústrias têxteis localizadas no semiárido, para a construção de dispositivos que possibilitem a irrigação subterrânea por capilaridade, para serem aplicados a culturas tradicionais do semiárido. Os dispositivos propostos são tecnologias sociais: “low-tech”, de baixo custo e construídos em parceria com as comunidades, com materiais e ferramentas locais, além de poderem incorporar outros lixos plásticos como garrafas PET e recipientes diversos, que são normalmente descartados indiscriminadamente no meio ambiente.

Com relação aos capítulos desta investigação, no Capítulo 2 há uma contextualização, incluindo conceitos e métodos de irrigação, além de diversos produtos e tecnologias existentes para irrigação subterrânea por capilaridade. Além de apresentar a problemática dos resíduos têxteis no Brasil e no Mundo.

No Capítulo 3 é feita uma revisão do transporte dos líquidos e métodos de caracterização da capilaridade. O Capítulo 4 apresenta os diversos resultados dos experimentos de

caracterização de resíduos têxteis, além da ideação, construção dos dispositivos e testes de campo realizados em laboratórios experimentais nos estados do Piauí, Paraíba e Rio Grande do Norte. O Capítulo 5 apresenta o desenvolvimento de dispositivo de irrigação capilar de baixo custo para irrigação do semiárido.

As conclusões estão no Capítulo 6, finalizando com as Referências Bibliográficas (Capítulo 7). Em seguida, como anexo, há uma cartilha de construção de um dos dispositivos idealizados, o Baldecap 2, que pode ser utilizada em oficinas com as comunidades rurais.

As principais contribuições desta investigação foram: a) testes de capilaridade confirmaram a possibilidade de utilização de diversos resíduos têxteis sintéticos para a aplicação na irrigação subterrânea por capilaridade, de baixo custo; b) ideação, construção e testes dos seguintes dispositivos (somente destacados os principais): canteiro económico capilar, um aperfeiçoamento do canteiro económico da Embrapa, com a inclusão de um dispositivo baseado em resíduos têxteis para otimização da irrigação subterrânea por capilaridade; SISCAFI, colar PET, vasos auto irrigáveis, Baldecap e Baldecap 2, que combinam a reutilização de lixo na forma de garrafas plásticas com resíduos têxteis; testes de germinação de sementes de culturas típicas do semiárido, nos Baldecap 2, que resultou em um desempenho três vezes superior, combinando-se maior crescimento e menor consumo de água, se comparados a baldes comuns sem capilaridade e sem aeração, para aplicação no crescimento de mudas (entre viveiro e cultura).

Palavras-chave

Resíduos têxteis; capilaridade; irrigação subterrânea; semiárido nordestino; sustentabilidade.

Folha em branco

Abstract

In the period 2012-17, the Northeastern semi-arid region faced one of the longest multi-annual droughts in its history. Droughts exacerbate the problems of living with the semi-arid region for a large part of the population of about 25 million inhabitants, with about 9 million living in the rural areas of the 1,262 municipalities in this region. Much has been done in the struggle to improve the living conditions of this population, such as the 1 Million Cisterns Program (P1MC).

However, there are several fronts that urgently need to be addressed: guaranteeing water quality; to implement desalination systems for the brackish groundwater; escalate the planting of crops resistant to drought and tolerant to acid soils and brackish water; develop public policies to optimize the use of water and agricultural land, to reduce water and food waste and to efficiently produce and store grains and fodder.

On the other hand, several grassroot technologies have been developed by countless institutions, all over the country, in search of solutions to these and other problems in the semiarid region, such as the proper destination of solid waste, especially non-biodegradable plastics.

In this context, the present investigation focuses on studies that allow the development of new technological solutions based on the unprecedented use of synthetic waste from textile industries located in the semiarid region, for the construction of devices that allow underground irrigation by capillarity, to be applied to traditional semi-arid cultures. The proposed devices are grassroot technologies: "low-tech", low cost and built in partnership with communities, with local materials and tools, in addition to being able to incorporate other plastic waste such as PET bottles and various containers, which are normally indiscriminately disposed in the environment.

With regard to the chapters of this investigation, in Chapter 2 there is a contextualization, including irrigation concepts and methods, in addition to several existing products and technologies for underground capillarity irrigation. In addition, the problem of textile waste in Brazil and in the world is presented.

Chapter 3 reviews the transport of liquids and capillary characterization methods. Chapter 4 presents the various results of the textile waste characterization experiments, in addition to the ideation, construction of devices and field tests carried out in experimental

laboratories in the states of Piauí, Paraíba and Rio Grande do Norte. Chapter 5 presents the development of a low-cost capillary irrigation device for irrigating the semiarid region.

The conclusions are in Chapter 6, ending with Bibliographic References (Chapter 7). Then, as an attachment, there is a booklet for building one of the idealized devices, Baldecap 2, which can be used in workshops with rural communities.

The main contributions of this investigation were: a) capillarity tests confirmed the possibility of using several synthetic textile residues for application in low cost underground capillarity irrigation; b) ideation, construction and testing of the following devices (only the main ones are highlighted): capillary economic raised bed, an improvement of Embrapa's economic raised bed, with the inclusion of a device based on reuse of textile residues to optimize underground irrigation by capillarity; SISCAFI, PET collar, self-irrigating vases, Baldecap and Baldecap 2, which combine the reuse of waste in the form of plastic bottles with textile waste; seed germination tests of typical semi-arid cultures, in Baldecap 2, which resulted in a performance three times superior, combining greater growth and less water consumption, when compared to common buckets without capillarity and without aeration, for application in seedling growth/nursery.

Keywords

Textile waste, capillarity, underground irrigation, Brazilian north-eastern semiarid, sustainability.

Folha em branco

Índice

Dedicatória	iii
Agradecimentos	v
Resumo	ix
Abstract	xii
Lista de Figuras	xx
Lista de Tabelas	xxiv
Lista de Símbolos	xxvi
Lista de Acrónimos	xxviii
Capítulo 1	1
1 Introdução	1
1.1 Motivação	3
1.2 Proposta de Tese	4
1.2.1 Objetivos.....	5
1.3 Metodologia	6
1.4 Organização da Tese	7
1.5 Contribuições Originais	8
1.5.1 Artigos em revistas científicas	8
1.5.2 Capítulos de livros	8
1.5.3 Artigos em anais de conferências internacionais	8
1.5.4 Resumos aceites para comunicação oral em conferência	9
Capítulo 2	10
2 Contextualização do Estudo	10
2.1 Introdução	10
2.2 O semiárido brasileiro	10
2.3 Irrigação: métodos, sistemas e aplicações	12
2.3.1 O uso da irrigação: vantagens e desvantagens	13
2.4 Métodos de irrigação	14
2.4.1 Irrigação de superfície	14
2.4.2 Irrigação por aspersão	15
2.4.3 Irrigação localizada ou microirrigação	16

2.4.4	Irrigação subterrânea	17
2.5	Irrigação no semiárido brasileiro	20
2.6	Irrigação têxtil por capilaridade	21
2.6.1	Kiss (Capillary Irrigation Sub-Surface System).....	22
2.6.1.1	Below Flow Flat (BFF)	23
2.6.1.2	Below Flow Wrap (BFW)	23
2.6.1.3	Ebb & Flow.....	24
2.6.2	Aquabox.....	25
2.6.2.1	Aquabox Spyder	25
2.6.2.2	Aquabox Straight	26
2.6.3	Poritex	27
2.6.4	Eco-Mat.....	30
2.6.5	Resumo das vantagens da irrigação subterrânea.....	30
2.6.6	Fibras têxteis em componentes de irrigação.....	31
2.7	A indústria têxtil e de confeções no Brasil e na Região Nordeste	32
2.7.1	A indústria têxtil e de confeções no Brasil	32
2.7.2	A indústria têxtil e de confeções na Região Nordeste	34
2.8	Os resíduos têxteis no Mundo e no Brasil.....	36
2.8.1	Os resíduos têxteis no Mundo	36
2.8.2	Os resíduos têxteis no Brasil	38
2.8.3	Os resíduos têxteis e a sustentabilidade.....	39
Capítulo 3	45
3	Breve revisão sobre transporte de líquidos em têxteis	45
3.1	Introdução	45
3.2	Tensão superficial	46
3.3	Molhagem	47
3.3.1	Curvatura e rugosidade da superfície e histerese do ângulo de contacto	48
3.4	Permeabilidade	49
3.4.1	Regime de fluxos	49
3.4.2	Permeabilidade no plano	50
3.4.3	Saturação.....	51
3.5	Capilaridade	52
3.5.1	Efeito da estrutura dos tecidos.....	56
3.6	Testes e metodologias experimentais para o estudo da capilaridade em têxteis.....	60
3.6.1	Imersão.....	60
3.6.2	Transporte transplanar	61

3.6.3	Transporte longitudinal.....	61
3.6.4	Testes de capilaridade vertical	61
3.6.5	Testes de Capilaridade Horizontal	63
Capítulo 4.....		66
4	Desenvolvimento de dispositivos de irrigação têxtil por capilaridade.....	66
4.1	Introdução	66
4.2	Plano experimental	66
4.3	Recolha de resíduos têxteis em diversas confeções do Estado da Paraíba	68
4.4	Caracterização dos resíduos têxteis.....	68
4.4.1	Caracterização das propriedades físicas e estruturais do material têxtil	68
4.4.1.1	Espessura (μm)	69
4.4.1.2	Massa por unidade de superfície (g/m^2).....	70
4.4.1.3	Massa volúmica (g/m^3)	70
4.4.1.4	Porosidade (ϵ)	70
4.4.1.5	Resultados	71
4.4.2	Caracterização laboratorial da capilaridade do material têxtil	72
4.4.2.1	Teste de Cobb	72
4.4.2.2	Teste da gota de água	74
4.4.2.3	Teste de Klemm (capilaridade vertical)	75
4.5	Imagens dos resíduos têxteis utilizados	79
4.6	Caracterização de outros resíduos têxteis	82
4.6.1	Caracterização das propriedades físicas e estruturais do material têxtil	82
4.7	Caracterização da capilaridade horizontal em teste de campo	82
4.8	Construção de canteiros experimentais	85
4.8.1	Canteiros de controlo (1 e 2).....	87
4.8.2	Canteiros com irrigação têxtil por capilaridade	88
4.8.2.1	Canteiros 3 (3A, 3B, 3C e 3D)	89
4.8.2.2	Canteiro 4	95
4.8.2.3	Canteiro 5	96
4.8.3	Canteiros e dispositivos alternativos	97
4.8.3.1	Canteiro 6 – SISCAFI.....	97
	(a) pronto a ser instalado; (b) sendo implanto no solo.	99
4.8.3.2	Canteiro 7 – Baldecap	99
4.8.3.3	Canteiro 8 – Baciacap	101
4.8.4	Resultados	101
4.8.4.1	Consumo de água	101

4.8.4.2	Plantio de culturas nos canteiros 3 (3A a 3D)	103
4.8.4.3	Plantio de culturas no canteiro 4	105
4.8.4.4	Plantio de culturas no canteiro 5	106
4.8.4.5	Plantio de culturas no canteiro 6 (SISCAFI)	106
4.8.4.6	Plantios nos canteiros 7 e 8.....	107
4.8.4.7	Resumo dos resultados dos experimentos no Piauí	108
4.9	Oficinas pedagógicas em comunidades no semiárido	112
4.9.1	Quintal produtivo e área comunitária.....	113
4.9.2	Horta escolar	115
Capítulo 5	116
5	Baldecap 2	116
5.1	Conceito	116
5.2	Processo de construção do Baldecap 2	117
5.3	Testes de desempenho de germinação no Baldecap 2.....	121
5.4	Irrigação e consumo de água do Baldecap 2	126
Capítulo 6	129
6	Conclusões.....	129
6.1	Resumo das contribuições da investigação	135
6.2	Investigações futuras	136
7	Referências Bibliográficas	137

Folha em branco

Lista de Figuras

Figura 1 – Semiárido brasileiro.....	10
Figura 2 – Irrigação de superfície, por sulcos.....	15
Figura 3 – Irrigação de superfície, por inundação, em cultura de arroz.	15
Figura 4 – Irrigação de superfície, por faixas.	15
Figura 5 – Irrigação por aspersão, convencional.....	16
Figura 6 – Irrigação por aspersão, pivô central.....	16
Figura 7 – Irrigação por aspersão, fitas de polietileno perfuradas.....	16
Figura 8 – Irrigação localizada por micro aspersão.....	17
Figura 9 – Irrigação localizada por gotejamento superficial.	17
Figura 10 – Tubo exsudante.....	17
Figura 11 – Irrigação localizada com tapete capilar geotêxtil.	17
Figura 12 – Gotejamento subterrâneo, vista da superfície.	17
Figura 13 – Irrigação subterrânea por gotejamento e capilaridade subterrâneos.....	18
Figura 14 – Quadro resumo dos métodos de irrigação.....	19
Figura 15 – <i>Bellow Flow Flat</i>	23
Figura 16 – <i>Bellow Flow Wrap</i>	24
Figura 17 – <i>Ebb & Flow</i>	24
Figura 18 – Princípio de funcionamento do <i>Ebb & Flow</i>	25
Figura 19 – Aquabox Spyder.	26
Figura 20 – <i>Aquabox Straight</i>	26
Figura 21 – Poritex em uma aplicação de irrigação superficial.	28
Figura 22 – Poritex em uma aplicação de irrigação de tomate.....	28
Figura 23 – Detalhe da exsudação na mangueira Poritex.	28
Figura 24 – ECO-MAT.	30
Figura 25 – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, da ONU.....	41
Figura 26 – Os 8 R's da moda sustentável.	42
Figura 27 – Moléculas no interior e na superfície (interface gás-líquido).....	45
Figura 28 – Os três estados possíveis de "molhado", segundo a equação de Young.	47
Figura 29 – Ângulos de contato formados por gotas de líquido numa superfície.	48
Figura 30 – Balanço de forças de contato de uma gota com a superfície.	48
Figura 31 – Capilaridade em tubo circular.....	53
Figura 32 – Ilustração do escoamento capilar nos poros de um tecido.....	54
Figura 33 – Ilustração da subida capilar em poros de diferentes tamanhos.	54
Figura 34 – Comparativo de recuperação de umidade em diferentes fibras.....	58

Figura 35 - Diversos métodos de avaliação de capilaridade em tecidos.	60
Figura 36 – Aparato para testes de capilaridade vertical em malhas.	62
Figura 37 – Aparato elétrico utilizado para avaliação da capilaridade vertical.	63
Figura 38 – Aparato para testes de capilaridade horizontal em malhas.	63
Figura 39 – Aparato para captura de imagens de capilaridade horizontal.....	64
Figura 40 – Técnica de processamento de imagens utilizada por Morent <i>et al.</i> [109].....	64
Figura 41 – Técnica utilizada para avaliação de capilaridade em tecidos.....	65
Figura 42 – Esquema do plano experimental da tese.	67
Figura 43 – Teste de compressão - Sistema Kawabata de avaliação de tecidos.	69
Figura 44 – Aparelho de medição de absorção de líquidos para o Teste de Cobb.....	72
Figura 45 – Gráfico dos resultados obtidos no Teste de Cobb.....	73
Figura 46 – Gráfico dos resultados obtidos no teste da gota de água.....	75
Figura 47 – Gráfico dos resultados do teste de capilaridade vertical da amostra 1 [n=4]..	76
Figura 48 – Gráfico dos resultados do teste de capilaridade vertical da amostra 2 [n=4].	76
Figura 49 – Gráfico dos resultados do teste de capilaridade vertical da amostra 3 [n=4].	77
Figura 50 – Gráfico dos resultados do teste de capilaridade vertical da amostra 4 [n=4].	77
Figura 51 – Gráfico dos resultados do teste de capilaridade vertical da amostra 5 [n=4]..	78
Figura 52 – Gráfico dos resultados do teste de capilaridade vertical da amostra 6 [n=4].	78
Figura 53 – Gráfico dos resultados do teste de capilaridade vertical da amostra 7 [n=4]..	79
Figura 54 – Imagens das amostras 1 a 7.....	80
Figura 55 – Oficina para demonstração de capilaridade horizontal dos têxteis.....	83
Figura 56 – Testes de campo da capilaridade horizontal: (a) mantas; (b) fitas.....	84
Figura 57 – Exemplo de teste da capilaridade horizontal em fitas.	84
Figura 58 – Representação gráfica do laboratório experimental localizado no Piauí.	86
Figura 59 – Representação gráfica e dimensões dos canteiros 1 e 2.....	88
Figura 60 – Canteiros de controlo 1 e 2.	88
Figura 61 – Representação gráfica dos canteiros 3 (A, B, C e D).	90
Figura 62 – Canteiros 3 (A, B, C e D).	90
Figura 63 – Representação gráfica e dimensões do canteiro 3A.....	91
Figura 64 – Construção do canteiro 3A.....	91
Figura 65 – Representação gráfica e dimensões do canteiro 3B.....	92
Figura 66 – Construção do canteiro 3B.....	93
Figura 67 – Representação gráfica e dimensões do canteiro 3C.....	93
Figura 68 – Canteiro 3C.	94
Figura 69 – Representação gráfica e dimensões do canteiro 3D.	94
Figura 70 – Canteiro 3D, em processo de construção.....	95
Figura 71 – Canteiros 3 (A, B, C e D) prontos para o plantio.	95

Figura 72 – Representação gráfica e dimensões do canteiro 4.....	95
Figura 73 – Construção do canteiro para plantio da palma.....	96
Figura 74 – Processo de construção do canteiro 5.....	96
Figura 75 – Representação gráfica do SISCAFI.....	98
Figura 76 – <i>Soda Bottle Wick Irrigation</i>	98
Figura 77 – Construção do SISCAFI.....	99
Figura 78 – Processo de fabrico do Baldecap – revestimento têxtil.....	100
Figura 79 – Processo de fabrico do Baldecap: tela metálica e cobertura de cimento.....	100
Figura 80 – Construção do canteiro 7.....	101
Figura 81 – Construção do canteiro 8, com a Baciacap.....	101
Figura 82 – Visão geral do plantio dos canteiros 3 (A, B, C e D).....	103
Figura 83 – Resultados apresentados pelo canteiro 3A.....	103
Figura 84 – Resultados da plantação de tomate cereja no canteiro 3B.....	104
Figura 85 – Resultados apresentados pelo Canteiro 3C para cultivo da alface.....	105
Figura 86 – Resultados apresentados pelo Canteiro 3D para cultivo da salsa.....	105
Figura 87 – Resultados do plantio da mandioca no Canteiro 4.....	106
Figura 88 – Resultado do plantio de palma no canteiro 5.....	106
Figura 89 – Resultado do plantio de mandioca, no canteiro 6.....	107
Figura 90 – Resultados do plantio no canteiro 8: (a) palma; (b) mandioca.....	108
Figura 91 – Ausência de despigmentação ou degradação dos resíduos têxteis.....	108
Figura 92 – Canteiro económico capilar.....	112
Figura 93 – Processo de fabrico dos vasos capilares: inserção de pavios têxteis.....	114
Figura 94 – Processo de fabrico dos vasos para o quintal produtivo.....	114
Figura 95 – Construção de canteiros para a promoção do empoderamento feminino.....	115
Figura 96 – Montagem e execução da tecnologia de capilaridade no contexto escolar.....	115
Figura 97 – Representação esquemática do Baldecap 2.....	116
Figura 98 – Diversas fases da construção dos BC2.....	119
Figura 99 – Etapas construtivas dos BC2.....	120
Figura 100 – Culturas germinadas nos BC2, com apenas 15 dias do plantio.....	122
Figura 101 – Exemplos de culturas nos BC2.....	124
Figura 102 – Exemplos de crescimento das plantas e compactação do solo.....	125
Figura 103 – Crescimento das plantas nos baldes BC2 e comuns (teste de germinação).....	126

Folha em branco

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Fatores que afetam a seleção do método de irrigação.	20
Tabela 2 – Materiais dos produtos para irrigação por capilaridade e por exsudação.	32
Tabela 3 – Número de contratos na indústria têxtil.	35
Tabela 4 – Tensão superficial de alguns líquidos.	46
Tabela 5 – Regimes de fluxos em meios porosos.	50
Tabela 6 – Empresas visitadas, para coleta de resíduos têxteis.	68
Tabela 7 – Descrição dos materiais caracterizados.	69
Tabela 8 – Massa volúmica e densidade de alguns materiais.	70
Tabela 9 – Resultados dos testes de caracterização das amostras de tecidos [n=5].	71
Tabela 10 – Resultados do Teste de Cobb.	73
Tabela 11 – Resultado do teste da gota de água [n=5].	74
Tabela 12 – Resultados do teste de capilaridade vertical da amostra 1 [n=4].	75
Tabela 13 – Resultados do teste de capilaridade vertical da amostra 2 [n=4].	76
Tabela 14 – Resultados do teste de capilaridade vertical da amostra 3 [n=4].	77
Tabela 15 – Resultados do teste de capilaridade vertical da amostra 4 [n=4].	77
Tabela 16 – Resultados do teste de capilaridade vertical da amostra 5 [n=4].	78
Tabela 17 – Resultados do teste de capilaridade vertical da amostra 6 [n=4].	78
Tabela 18 – Resultados do teste de capilaridade vertical da amostra 7 [n=4].	79
Tabela 19 – Resumo das alturas obtidas nos testes de capilaridade vertical [n=4].	79
Tabela 20 – Gramaturas das amostras enviadas ao laboratório da UFRN.	82
Tabela 21 – Dispositivos testados no teste de capilaridade horizontal.	84
Tabela 22 – Visão geral dos canteiros do laboratório experimental no Piauí.	87
Tabela 23 – Consumo de água dos canteiros 1, 2 e 3 durante 15 dias.	102
Tabela 24 – Custos de canteiros 3A a 3D, para uma área padrão de 10 m ²	110
Tabela 25 – Partes constituintes do BC2.	118
Tabela 26 – Alturas médias das plantas nos BC2.	123
Tabela 27 – Consumo de água e crescimento das plantas, durante o experimento.	127

Folha em branco

Lista de Símbolos

γ_{SL}	tensão superficial sólido – líquido
γ_{SV}	tensão superficial sólido – vapor
γ_{LV}	tensão superficial líquido – vapor
μ	viscosidade dinâmica do fluido
ρ_l	densidade do fluido
v_p	velocidade do fluxo nos poros
dh	diâmetro hidráulico
B (m ²)	coeficiente de permeabilidade
μ (Pa.s)	viscosidade dinâmica do fluido
H	espessura do material
h (m)	comprimento considerado na direção γ
ΔP	queda de pressão no comprimento h
V_{fluid}	volume de líquido
m	massa por unidade de superfície
m_w	massa por unidade de superfície do tecido molhado
m_d	massa por unidade de superfície do tecido massa de tecido seco
ρ	massa volúmica
ρ_l	massa volúmica do líquido
γ	tensão superficial do líquido
θ	θ ângulo de contato do líquido com o substrato
R	raio capilar efetivo
P_h	pressão hidrostática
g	g é a aceleração da gravidade
ε	porosidade do material

Folha em branco

Lista de Acrónimos

Baldecap	Baldes Capilares
BFF	Below Flow Flat
BFW	Below Flow Wrap
CE	Ceará
CNPJ	Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica
DEFRA	Departamento Britânico para o Meio Ambiente, Alimentação e Assuntos Rurais
EAD	Educação a Distância
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IEMI	Instituto de Estudos e Marketing Industrial
INSA	Instituto Nacional do Semiárido
ITS	Irrigação Têxtil Subterrânea
ITS Brasil	Instituto de Tecnologia Social do Brasil
IWT	Irrigation Water Technologies
KISSS	Capillary Irrigation Sub-Surface System
LER	Lista europeia de resíduos
LETS	Tecnologias Sociais e Energias Renováveis
MI	Ministério da Integração Nacional
MST	Movimento dos Sem-Terra
Mt	Milhões de Toneladas
P1MC	Programa 1 Milhão de Cisternas
PB	Paraíba
Pc	Pressão capilar
PE	Pernambuco
PET	Politereftalato de etileno
Ph	Pressão hidrostática
PI	Piauí
R	Raio
Re	Reynolds
RN	Rio Grande do Norte
ROL	Receita Operacional Líquida
SBWI	Soda Bottle Wick Irrigation
SISCAFI	Sistema de Irrigação Subterrânea por Capilaridade para a Agricultura Familiar
SP	São Paulo
UBI	Universidade da Beira Interior
UFPI	Universidade Federal do Piauí
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Folha em branco

Capítulo 1

1 Introdução

No período de 2012 a 2017, o semiárido nordestino enfrentou uma das secas plurianuais mais prolongadas desde o século XIX, quando se iniciaram registros históricos anuais sobre o regime de chuvas na região. Antes deste período recente, houve grandes estiagens nos períodos 1877/1879, 1919/1921, 1934/1936, 1963/1964, 1979/1983, 1997/1999 e 2007/2008, se considerados apenas os séculos XIX, XX e XXI [1].

Estas secas plurianuais agravam sobremaneira os problemas de convivência com o semiárido, para grande parte da população que vive nesta região. É o semiárido mais populoso da Terra, com cerca de 25 milhões de habitantes, ou 12% da população brasileira. Destes, cerca de 9 milhões vivem na zona rural dos 1.262 municípios que compõem esta região [1].

Durante um destes graves períodos de secas plurianuais, de 1979 a 1983, a autora residia numa grande cidade do interior do Nordeste chamada Campina Grande, no estado da Paraíba, com diversas universidades públicas instaladas, como as atuais Universidade Federal de Campina Grande – um desmembramento de alguns campi da Universidade Federal da Paraíba - e a Universidade Estadual da Paraíba. Naquela época, como estudante de graduação que era envolta com as tarefas, estudos e vida universitária, não entendia a gravidade da situação pela qual o Nordeste passava, naquele momento. Actualmente sabe-se que haviam estimativas diversas, como a de cerca de cem mortes por dia; de 100 mil a 700 mil mortes nos cinco anos (1979 a 1983); e, finalmente, de cerca de um milhão de mortes no período, estimativa esta da Articulação do Semiárido Brasileiro – ASABRASIL [1].

Nunca saberemos o número exato de mortes naquele período, de trabalho extremamente desgastante nas frentes de emergência; de mortes em massa de pessoas e animais, por fome e sede; de êxodo de multidões, invadindo cidades e saqueando lojas comerciais; de longas viagens para grandes cidades do sul-sudeste, como Rio de Janeiro e São Paulo, na procura de trabalho e sobrevivência.

Nos últimos anos muita coisa mudou na luta pela melhoria das condições de vida da população que vive no semiárido. Por exemplo, programas como o P1MC (Programa 1

Milhão de Cisternas), da ASABRASIL, e o Programa Cisternas, do Governo Federal, viabilizaram a construção de 1.2 milhão de cisternas de 16.000 litros, para captação de água da chuva e disponibilização de água potável para as famílias rurais, além de cerca de 200 mil de 52.000 litros – 1.000 litros para cada uma das 52 semanas do ano - as chamadas cisternas produtivas ou cisternas-calçadão [1].

Contudo, muito ainda precisa ser feito, em diversas frentes: garantir a qualidade da água disponível nas cisternas para consumo humano e animal; implantar sistemas de dessalinização de água salobra do subsolo para atendimento às comunidades em situação crítica de abastecimento de água doce; escalar o plantio de culturas resistentes à seca e tolerantes a solos ácidos e à água salobra, como na agricultura bioessalina; desenvolver políticas públicas de otimização de uso da água e do solo agriculturável; de redução do desperdício de água e de alimentos; de produção e armazenamento eficiente de grãos e forragens, para utilização nos períodos de estiagem.

São diversas ações implementadas para a melhoria das condições de convivência da população com o semiárido. Diversos institutos de investigação, dentro das Universidades Públicas e dos Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia, que compõem a chamada Rede Federal, além de centros de investigação de excelência, como a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e o Instituto Nacional do Semiárido (INSA), têm se debruçado sobre diversos problemas do semiárido, propondo soluções verdadeiramente inovadoras, nomeadamente tecnologias sociais.

Diversas tecnologias sociais¹ têm vindo a ser desenvolvidas por inúmeras Organizações Não-Governamentais, em todo o país, na procura de soluções para problemas como o destino de esgotos domésticos (tratamento de águas cinzas e negras) no meio rural; destinação adequada de resíduos sólidos, especialmente os plásticos não-biodegradáveis; sistemas alternativos de compostagem; microgeração baseada em energias renováveis como a energia solar e eólica, entre outras soluções verdadeiramente engenhosas, de baixo custo e adaptadas ao local e situação onde foram idealizadas.

Neste contexto, a presente investigação propõe uma utilização expedita de resíduos sintéticos de indústrias têxteis localizadas no semiárido, além de lixo plástico na forma de garrafas plásticas e recipientes diversos descartados indiscriminadamente no meio

¹ Segundo o Instituto de Tecnologia Social do Brasil (ITS Brasil), as tecnologias sociais definem-se por um “conjunto de técnicas, metodologias transformadoras, desenvolvidas e/ou aplicadas na interação com a população e apropriadas por ela, que representam soluções para inclusão social e melhoria das condições de vida” [5].

ambiente, para a construção de dispositivos que possibilitem a irrigação subterrânea por capilaridade, para culturas tradicionais do semiárido.

Atualmente, os sistemas de irrigação por capilaridade são considerados “high-tech” em países desenvolvidos, onde já há diversos sistemas comercialmente disponíveis, como KISSS (Austrália) [2], Aquabox (Inglaterra) [3] e Poritex (Andorra) [4]. É utilizada para irrigação de parques com relvas, campos de futebol e no agronegócio, em grandes plantações de monoculturas, com grandes investimentos e sistemas de controle muito sofisticados.

É, portanto, aos olhos da maioria das pessoas, uma tecnologia cara e acessível somente por grandes produtores. A proposta é trazê-la para o “low-tech”, ou seja, propor e testar dispositivos que viabilizem a sua utilização pela população que constitui a base da pirâmide no semiárido brasileiro; que sejam de baixo custo e que possam ser construídos em conjunto com os beneficiários; que sejam eficientes; que não dependam de insumos importados; que utilizem energias renováveis; que sejam de fácil construção, instalação, operação e manutenção. Por fim, que sejam verdadeiras tecnologias sociais [5].

1.1 Motivação

Para além da motivação pessoal assente nas memórias de estudante, referidas na introdução, também as memórias de âmbito familiar, marcadas pela convivência com lojas de tecidos, a comercialização de algodão bruto por parte do meu pai, despertaram em mim o interesse por um projeto que trouxesse melhoria na qualidade de vida de famílias que sofrem as agruras das secas da região.

Cabe à realidade de quem nasce no semiárido do Nordeste brasileiro, criar condições de sobrevivência diante da aridez causticante da Caatinga. Sendo sertaneja penso e tenho agido como meus pares: há muito para ser feito nestas terras, façamos, pois!

Nesta perspectiva, esta tese foi concebida como um processo de interação entre eu autora e o meio ambiente, cujo ponto de partida faz referência ao meu vínculo histórico e sociocultural com o semiárido uma vez que vivenciei e presencio situações decorrentes do cenário das secas; e no dizer de Euclides da Cunha, em Os Sertões, “O sofrimento do sertanejo nasce do sofrimento da terra” [6].

Por essa razão, o ato de fazer para transformar inclui os espaços académicos que me têm permitido levantar questões elaboradas para propor intervenções necessárias à vida do

homem e ao meio, nomeadamente através desta Tese de Doutoramento e outros projectos relevantes financiados através de instituições públicas e privadas, tais como:

- “Desenvolvimento de kits didáticos de ensino tecnológico para aplicação na Rede estadual de ensino” (2018), projecto contratado pelo Governo do Estado da Paraíba e coordenado pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB), executado com apoio do Laboratório Educacional de Tecnologias Sociais e Energias Renováveis (LETS)²;
- “Agricultura familiar, tecnologia, capacitação e empreendedorismo no semiárido do Rio Grande do Norte” (2017/18), onde foram ministradas oficinas de construção do sistema simplificado de irrigação por capilaridade (SISCAFI);
- “Rede de Mulheres Produtoras do Pajeú”, onde participa como voluntária nos quintais produtivos, em Afogados da Ingazeira (2017/19);
- “Novo fio 100% algodão orgânico colorido naturalmente para malharia retilínea”, Projecto Inova SENAI 2017.3, categoria B. Projecto no âmbito da colaboração com a Natural Cotton Color, com a qual contribui desde 2005.

1.2 Proposta de Tese

No contexto da agricultura familiar no semiárido brasileiro, é necessária uma tecnologia de baixo custo e acessível aos pequenos agricultores familiares, que permita otimizar o uso da água para irrigação com foco na produção de alimentos para consumo da família e para venda do excedente, gerando rendimento extra.

Com relação à indústria têxtil, o descarte indiscriminado de resíduos têxteis é um problema global de grandes dimensões e em especial no Brasil, que é um grande produtor mundial na área têxtil e que, conseqüentemente, também produz muitos resíduos têxteis.

Somando estas duas problemáticas, esta Tese propõe uma nova alternativa para a reutilização de têxteis: o desenvolvimento de dispositivos para irrigação subterrânea por capilaridade, de baixo custo, que podem contribuir para uma produção sustentável na agricultura familiar.

A proposta é de desenvolver e estudar o comportamento de sistemas de irrigação subterrânea de baixo custo baseados em “tubos” capilares e fitas exsudantes confeccionadas

² A LETS é uma associação educacional e de assessoria técnica sem fins lucrativos que, com uso de um laboratório móvel, realiza oficinas contextualizadas nas áreas de tecnologias sociais e energias renováveis, personalizadas para cada contexto, território e realidade, com foco na utilização de tecnologias sociais para a promoção do desenvolvimento sustentável do meio rural, em especial no semiárido nordestino. A LETS é uma inscrita sob o Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica n. 24.176.271/0001-60.

artesanamente a partir destes resíduos sintéticos, semelhantes aos produtos comerciais já existentes, com as seguintes principais diferenças e inovações:

- Que sejam produzidos com resíduos têxteis sintéticos, nomeadamente os obtidos nas indústrias de confeções no Estado da Paraíba, para dar longevidade ao sistema de irrigação.
- Que possam ser combinados com outros resíduos e materiais reciclados já utilizados artesanamente para a construção de dispositivos para irrigação, como tubos e garrafas PET;
- Que não utilizem máquinas e equipamentos sofisticados para sua fabricação;
- Que o processo de fabricação seja artesanal, viabilizando sua produção individual ou em pequenas confeções e empreendimentos familiares, artesanais, na região do semiárido brasileiro;
- Que a tecnologia desenvolvida possa ser utilizada por pequenos agricultores familiares desta região, que sofrem com a escassez de água para consumo e para produção;
- Que sejam desenvolvidos com tecnologia 100% brasileira, evitando-se os altos custos de importação de componentes e subsistemas, o que poderia inviabilizar sua utilização por comunidades e famílias de baixa renda, no interior do Brasil.

Assim, considerando estes aspectos, definiu-se o objetivo geral e os objetivos específicos da presente investigação, descritos a seguir, bem como a metodologia a ser utilizada.

1.2.1 Objetivos

O objetivo geral desta investigação é o desenvolvimento de dispositivos capilares e exsudantes para irrigação subterrânea aplicada ao semiárido brasileiro, a partir da reutilização de resíduos têxteis sintéticos provenientes de indústrias têxteis e confeções da região.

Os objetivos específicos são:

- Caracterizar alguns resíduos têxteis provenientes das indústrias e confeções do Estado da Paraíba, quanto à sua quantidade, diversidade, composições, propriedades físicas e estruturais, como sua capacidade de absorção e transporte de líquidos;
- Desenvolver métodos e técnicas de fabricação artesanal de fitas e mantas baseados em resíduos têxteis, para aplicação em irrigação subterrânea;
- Estudar a eficiência do transporte de líquido de diferentes dispositivos têxteis em formatos de fitas e mantas, produzidos com resíduos têxteis;

- Construir e instrumentar locais para um plantio de teste e coleta de dados de desempenho dos dispositivos a serem comparados;
- Testar os produtos desenvolvidos em canteiros irrigados com diferentes técnicas.

1.3 Metodologia

Para a concretização da presente investigação, foi necessário proceder à fundamentação teórica, que se apoiou na recolha e análise bibliográfica, a fim de analisar criticamente o estado de arte no que já foi estudado e publicado acerca da irrigação com recurso a têxteis.

Esta pesquisa baseou-se em artigos científicos, livros, revistas especializadas e demais sítios relacionados, que deram suporte para que fosse possível conhecer as fronteiras do conhecimento acerca do tema.

Esta investigação consistiu numa sequência de fases abaixo descritas:

1. Estado da arte sobre o transporte de líquido em têxteis;
2. Estudo do conceito de irrigação e suas técnicas;
3. Estudos da aplicação de têxteis para irrigação subterrânea por capilaridade;
4. Gestão e recolha de resíduos têxteis;
5. Caracterização dos resíduos têxteis: massa por unidade de superfície; espessura; massa volúmica; porosidade e capilaridade;
6. Desenvolvimento de dispositivos/sistemas de irrigação subterrânea por capilaridade, utilizando resíduos têxteis, para testes em canteiros experimentais;
7. Construção de canteiros experimentais, para coleta de dados de desempenho dos sistemas desenvolvidos;
8. Análise de resultados;
9. Desenvolvimento de dispositivos de baixo custo para utilização em oficinas com comunidades no semiárido;
10. Discussão de resultados obtidos submissão de artigos científicos relativos à investigação realizada.

1.4 Organização da Tese

A evolução desta investigação far-se-á em diversas fases, envolvendo diversos passos que visam alcançar os objectivos anteriormente mencionados. O Capítulo 1 principia com uma introdução da estrutura da tese e o seu enquadramento, o que corresponde a uma síntese dos conteúdos pesquisados e as motivações que deram origem a esta investigação, de forma a permitir uma melhor compreensão do estudo em questão, justificando a necessidade da pesquisa actual. Logo de seguida descreve-se a motivação pessoal desta investigação assim como os objectivos a atingir com a tese, seguidamente, e por fim, será apresentado um esboço da estrutura da mesma e desenvolvimento da metodologia adoptada.

No Capítulo 2, faz-se uma contextualização deste estudo, incluindo uma descrição sobre o semiárido, além de conceitos e métodos de irrigação comumente aplicados na região. Em seguida, são apresentados diversos produtos e tecnologias já existentes e disponíveis comercialmente, que possibilitam a irrigação subterrânea por capilaridade. Além de apresentar a problemática dos resíduos têxteis no Brasil e no Mundo.

No Capítulo 3 é feito um levantamento da revisão de literatura referente à teoria do transporte de líquidos em têxteis e dos métodos de caracterização da capilaridade.

O Capítulo 4 apresenta os diversos resultados dos experimentos de caracterização de resíduos têxteis em laboratórios da UBI e da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (Brasil), e dos diversos testes de campo realizados em "laboratórios experimentais" nos estados do Piauí, Paraíba e Rio Grande do Norte. Foram desenvolvidos e testados diversos dispositivos, sempre em parceria com as comunidades potencialmente beneficiárias destas tecnologias sociais.

O Capítulo 5 apresenta o desenvolvimento de um novo dispositivo de baixo custo para irrigação no semiárido, construído com base nos resultados dos capítulos anteriores e denominado Baldecap 2.

No Capítulo 6 são encontradas as considerações finais e através da discussão dos resultados são formalizadas as conclusões desta investigação, de acordo com os objectivos propostos.

Adicionalmente, após as referências bibliográficas são encontrados os anexos que integram artigos científicos que foram realizados e publicados no decorrer desta investigação.

1.5 Contribuições Originais

Mais ainda se destacam nesta secção as publicações e comunicações de cariz científico: dois artigos em revistas científicas, três capítulos de livros, três artigos em anais de conferências internacionais e artigos em conferências e dois resumos aceites para comunicação oral em conferência.

1.5.1 Artigos em revistas científicas

- Nascimento, N. R., Salvado, L. R. B. S. “Using textile waste as a sustainable alternative to underground irrigation in Brazil’s semi arid region”, *Journal of Textile Engineering & Fashion Technology*, Volume 7, pp 32-44; doi:10.15406/jteft.2021.07.00265.
- NASCIMENTO, Nicéa Ribeiro do et al. “Utilizando resíduos têxteis como alternativa de tecnologia de irrigação na Região Semiárida do Nordeste Brasileiro”. *Revista Práxis: saberes da extensão*, [S.l.], v. 1, n. 1, p. 67-73, jan. 2021. ISSN 2525-5355. doi:http://dx.doi.org/10.18265/2318-23692021v0n1p67-73.

1.5.2 Capítulos de livros

- Nascimento, N. R., Salvado, L. R. B. S. and Borges, F. F., “Low Cost System Based on Textile and Plastic Waste for Underground Irrigation in the Brazilian Semi-arid Region”, *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 505, 2019, pp. 726-731; doi:10.1007/978-3-319-91334-6_99.
- Nascimento, N. R., Borges, F. F.; Salvado, L. R. B. S. *Uso de resíduos têxteis como alternativa sustentável para a irrigação subterrânea por capilaridade no semiárido brasileiro*. ISBN: 9786587196992; doi: 10.37885/210303962.
- Nascimento, N. R., Salvado, L. R. B. S. and Borges, F. F., “Sistema de baixo custo baseado em resíduos têxteis para irrigação subterrânea eficiente no semiárido”. ISBN: 9788570421548; doi: 10.36229/978-85-7042-154-8.cap.15.

1.5.3 Artigos em anais de conferências internacionais

- Nascimento, N. R., Salvado, L. R. B. S., Borges, F. F. and Holanda G. M., “Fabric waste applied to low cost subsurface irrigation”, *Proceeding of The Fiber Society Spring*

Meeting and Technical Conference, May, Mulhouse, 2016, pp. 177-178. ISBN: 978-2-9556560-0-6.

- Nascimento, N. R., Salvado, L. R. B. S., Borges, F. F., Luna, F. M. e Silva, J. A. G., “Sistema de baixo custo baseado em resíduos têxteis para irrigação subterrânea no semiárido e mitigação das consequências da “Fast-Fashion””, Anais do Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, Dezembro, João Pessoa, Vol. 5, 2017, pp. 597-607. ISSN 2318-7603.
- Nascimento, N. R., Salvado, L. R. B. S., Borges, F. F., Luna, F. M. e Silva Júnior, A. G., “Sistema de Baixo Custo Baseado em Resíduos Têxteis para Irrigação Subterrânea Eficiente no Semiárido”, Anais do II Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido, Novembro, Campina Grande, 2017, pp. 1-12. ISSN 2526-186X.

1.5.4 Resumos aceites para comunicação oral em conferência

- Nascimento, N. R., Salvado, L. R. B. S., Borges, F. F., Nascimento, G. A. R. “Subsurface textile irrigation as a proposal to promote female empowerment in the Brazilian semi-arid region”, Proceedings of 1st Sustainable Solutions for Growth Conference, September, Wroclaw, 2018, pp. 65-66.
- Nascimento, N. R., Borges, F. F., Salvado, L. R. B. S. “Use of an underground irrigation technology to promote sustainability in the Brazilian school context”, Proceedings of 2nd Sustainable Solutions for Growth Conference, September, Wroclaw, 2019, pp. 70.

Capítulo 2

2 Contextualização do Estudo

2.1 Introdução

Neste capítulo é feito um levantamento da literatura pertinente sobre a localização geográfica, climatologia e alguns dados socioeconómicos relacionados com o ambiente relacionado com este estudo: o semiárido brasileiro

Procura-se também realçar os seus aspectos sociais, económicos e ambientais, a irrigação e os seus benefícios, métodos e sistemas de irrigação utilizados assim como os seus componentes, princípios de operação e as suas vantagens/limitações. A parte central do estudo diz respeito à utilização da irrigação subterrânea por capilaridade, a partir do desenvolvimento e testes de dispositivos construídos com resíduos têxteis.

2.2 O semiárido brasileiro

O semiárido constitui-se historicamente uma das regiões menos desenvolvidas do Brasil [7]. Actualmente abrange uma área de cerca de 1.030.000 km², compreendendo 1.262 municípios de 9 Estados: Alagoas, Bahia, Ceará, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe conforme ilustrado na Figura 1.



Figura 1 – Semiárido brasileiro.
(Fonte: [8])

Nessa região, vivem cerca de 27 milhões de pessoas, ou seja, cerca 12% da população brasileira, de acordo com o Ministério do Desenvolvimento Regional [9]. A maior parte do semiárido situa-se na Região Nordeste do país e também se estende pelo norte de Minas Gerais.

O bioma caatinga cobre a maior parte do semiárido e é rico em espécies animais e vegetais. Com relação à divisão de terras, enquanto que cerca de 1,5 milhão de famílias agricultoras (28,82% de toda a agricultura familiar brasileira) ocupam apenas 4,2% das terras agricultáveis do semiárido, os estabelecimentos rurais com mais de 1 mil hectares (somente 1,3%, os conhecidos latifúndios), ocupam 38% das terras. Neste contexto, mais da metade (59,1%) dos brasileiros em situação de extrema pobreza estão no Nordeste, a maioria em áreas rurais [1].

Em 60,09% dos municípios do semiárido, com mais de nove milhões de habitantes, o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) varia de Muito Baixo a Baixo. O IDH leva em consideração indicadores de longevidade, educação e renda. Todos os municípios do semiárido apresentaram IDHM inferior ao do Brasil (0,727) [1].

Metade da população no semiárido não possui renda monetária ou tem como única fonte de rendimento os benefícios governamentais, a maioria destes (59,5%) são mulheres. Os que dispõem de até um salário mínimo mensal somam 31,4%, sendo 47% mulheres. O índice de Gini, que mede o nível de desigualdade a partir da renda, está acima de 0,60 para mais de 32% dos municípios do semiárido, demonstrativo de uma elevada concentração da renda na região [1].

A região também tem muitos problemas ambientais, entre aos quais podemos destacar: a salinidade e distribuição irregular das águas subterrâneas; a distribuição irregular das chuvas; a concentração de terras e a falta de desapropriação para os pequenos agricultores; os solos de baixa qualidade e salinos; e o desmatamento excessivo [10].

2.3 Irrigação: métodos, sistemas e aplicações

A prática da irrigação no mundo ocorre desde as antigas civilizações, notadamente nas que se desenvolveram em regiões secas como no Egito e na Mesopotâmia. Em regiões de características físico-climáticas mais favoráveis, a agricultura tendeu a se desenvolver inicialmente em regiões onde a quantidade e a distribuição espacial e temporal das chuvas são capazes de suprir a necessidade das culturas, de forma que a irrigação passou a emergir em períodos mais recentes. Esse é o caso do Brasil, onde a irrigação teve início na década de 1900 para a produção de arroz no Rio Grande do Sul. A expressiva intensificação da atividade em outras regiões do país ocorreu a partir das décadas de 1970 e 1980. Com crescimento forte e persistente, novos polos surgiram nas últimas década [7].

Existem várias definições para o termo irrigação fornecidas por diferentes autores ao longo da história da ciência da agricultura. Para efeitos práticos e de fácil entendimento, a irrigação é uma técnica milenar de aplicação de água no solo, em complemento à água da chuva, com o objetivo de garantir a humidade necessária para uma determinada cultura.

Outras definições encontradas na literatura:

“Aplicação artificial de água no solo, em quantidades adequadas, visando proporcionar a humidade necessária ao desenvolvimento das plantas nele cultivadas, a fim de suprir a falta ou a má distribuição das chuvas” [11].

“Técnica milenar que tem como finalidade disponibilizar água às plantas para que estas possam produzir de forma adequada” [12].

O Professor José António Frizzone, da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, em Piracicaba (SP), Brasil, estende os conceitos clássicos supracitados, incluindo os aspectos conservacionista e social. Numa visão conservacionista, a irrigação é definida por este autor como:

“Aplicação artificial de água no solo, através de métodos capazes de atender da melhor forma possível as condições do meio físico (necessidade de água da cultura, condições topográficas do terreno, capacidade de retenção de água do solo...) e aos objetivos desejados (maximizar a produtividade, maximizar o lucro...) com mínima degradação ambiental” [13].

Por outro lado, o mesmo autor define a irrigação de acordo com uma visão social:

“...uma prática agrícola capaz de maximizar os benefícios totais, incluindo os benefícios não monetários como a segurança alimentar, a geração de empregos, a melhoria das condições socioeconômicas das comunidades rurais, a fixação do homem no campo e a proteção da qualidade da água” [13].

Segundo Carvalho [11], a irrigação tem como objetivo “satisfazer as necessidades hídricas das culturas, armazenando água na zona radicular e ficando à disposição da cultura. Este objetivo deve ser alcançado sem alterar as condições físicas e químicas do solo e com mínima interferência sobre os demais fatores necessários à produção cultural”.

Frizzone [13] classifica os objetivos da irrigação segundo dois aspectos: financeiros, onde se “procura maximizar a relação benefício/custo com o aumento da produção, quer em quantidade, quer em qualidade, ou incorporar à agricultura terrenos que, sem o uso da irrigação, não poderiam ser cultivados”; e sociais, onde estes aspectos “são mais relevantes que os financeiros (projetos públicos de desenvolvimento regional): segurança alimentar; fixação do homem no campo, melhoria das condições socioeconômicas de comunidades rurais”.

2.3.1 O uso da irrigação: vantagens e desvantagens

Desde a pré-história, que o homem vem desviando cursos d’água para irrigar suas plantações. Foi o uso desta técnica que possibilitou o estabelecimento humano em zonas áridas e semiáridas, tornando esses locais permanentemente habitados. Desde cedo, o homem entendeu que ele não só precisava de água para viver, mas, que as plantas ficavam mais verdes e produziam mais com a sua presença [14].

Segundo Frizzone [13], a irrigação traz diversos benefícios e algumas desvantagens, se os devidos cuidados não forem tomados. Entre as vantagens, podem ser citadas: o aumento da produtividade de culturas, do lucro e do valor de uma propriedade rural; a viabilização de um escalonamento de culturas; a existência de dois ou mais cultivos por ano, na mesma área; a introdução de culturas mais nobres, com maior valor agregado; a minimização de risco do investimento; a melhoria das condições econômicas de comunidades rurais; a fixação do homem no meio rural, pelo aumento da procura de mão-de-obra.

Por outro lado, a irrigação também pode ter algumas desvantagens, dependendo da situação: altos custos de implantação; grande consumo de água, associado, na maioria dos casos, a altas taxas de desperdício; falta de mão-de-obra qualificada para operação, o que pode inviabilizar um sistema de irrigação; degradação ambiental e contaminação dos recursos hídricos; salinização do solo e da água [13].

Assim, é de fundamental importância a escolha adequada do método de irrigação para cada local e situação. Devem ser levados em consideração diversos aspectos, como a disponibilidade hídrica, o tipo de solo, relevo do terreno, tipos de cultura, clima e precipitações anuais, disponibilidade de mão-de-obra, tecnologias associadas, entre outros fatores.

2.4 Métodos de irrigação

Neste subcapítulo serão apresentados os métodos de irrigação e os sistemas mais conhecidos empregados atualmente mostrando as suas aplicabilidades em diferentes métodos de cultivo. Para que a água seja aplicada às plantas pelos quatro diferentes métodos que a seguir se apresenta, é necessário fazer o uso de diferentes sistemas de irrigação, que são definidos como o conjunto de equipamentos, acessórios, formas de operação e manejo, e que de forma organizada realizará o ato de irrigar as culturas [14].

Os métodos de irrigação podem ser classificados em: superfície, aspersão, localizada ou micro irrigação, e subterrânea.

2.4.1 Irrigação de superfície

A irrigação de superfície é possivelmente o método mais antigo do mundo [14]. Também conhecida como irrigação por gravidade, neste método utiliza-se a superfície do solo para transportar a água a ser aplicada na área de cultivo, à pressão atmosférica.

A irrigação por superfície é atualmente utilizada intensamente em todo o mundo, especialmente em países e áreas menos desenvolvidas, onde a produção de arroz é a principal atividade agrícola, como na Índia, China, Paquistão e Japão. Mesmo nos Estados Unidos, a irrigação por superfície ocupa o segundo lugar entre os sistemas de irrigação utilizados pelos agricultores, devido à pouca tecnologia empregada e os baixos custos de investimento e operacional [14].

Entre as técnicas da irrigação de superfícies, destacam-se a irrigação por sulcos (Figura 2), por inundação (Figura 3) e por faixas (Figura 4).



Figura 2 – Irrigação de superfície, por sulcos.
(Fonte:[15])



Figura 3 – Irrigação de superfície, por inundação, em cultura de arroz.
(Fonte:[16])



Figura 4 – Irrigação de superfície, por faixas.
(Fonte: [17])

2.4.2 Irrigação por aspersão

A irrigação por aspersão é o método em que a aplicação de água na superfície do terreno assemelha-se a uma chuva, isso devido ao fracionamento de um jato de água em gotas menores lançado no ar atmosférico sob pressão por meio de pequenos orifícios ou bocais [18].

De uma forma geral, a água é aplicada por meio de jatos sob pressão, no ar atmosférico, com a utilização de bocais, bicos aspersores e orifícios, como mostram as Figuras 5, 6 e 7.



Figura 5 – Irrigação por aspersão, convencional.
(Fonte: [17])



Figura 6 – Irrigação por aspersão, pivô central.
(Fonte: [17])



Figura 7 – Irrigação por aspersão, fitas de polietileno perfuradas.
(Fonte: [17])

2.4.3 Irrigação localizada ou microirrigação

A água é direcionada sob pressão e aplicada em áreas específicas de interesse, próximas às raízes das plantas. Subdivide-se em: micro aspersão (Figura 8), gotejamento superficial (Figura 9) e irrigação por mangueiras exsudantes e geotêxteis (Figura 10 e Figura 11, respectivamente).

A irrigação localizada por gotejamento compreende a aplicação de água, gota a gota diretamente na região da raiz da planta em alta frequência e baixo volume, de modo que mantenha o solo na região radicular das plantas uma boa humidade. Com isso, a eficiência de aplicação é bem maior e o consumo de água menor.

A irrigação localizada por microaspersão trata-se de um sistema de irrigação em que a água é aspergida através de micro-aspersores (miniaturas de aspersores) próximos ao sistema radicular das plantas [19].

A irrigação localizada por tubos exsudantes ou tapetes geotêxteis pode ser superficial ou subterrânea. A distribuição de água pode ocorrer por meio de tubos porosos que molham o solo ao longo de toda a extensão dos tubos, bem como por meio de tapetes capilares

geotêxteis que possibilitam a irrigação pelo princípio da capilaridade em vasos de plantas (Figura 11), onde a água presente no tapete é absorvida pela terra dentro dos vasos, embora ainda haja perdas por evaporação.



Figura 8 – Irrigação localizada por micro aspersão.
(Fonte: [20])



Figura 9 – Irrigação localizada por gotejamento superficial.
(Fonte: [21])



Figura 10 – Tubo exsudante.
(Fonte: [22])



Figura 11 – Irrigação localizada com tapete capilar geotêxtil.
(Fonte: [23]).

2.4.4 Irrigação subterrânea

A irrigação subterrânea, também chamada de subirrigação ou drenagem controlada, é um método que consiste na aplicação da água diretamente na subsuperfície do solo [17], na profundidade do sistema radicular das plantas, evitando-se perdas por evaporação comuns nos sistemas superficiais. Este tipo de irrigação pode ser realizada pela técnica de gotejamento (Figura 12) ou com a utilização de geotêxteis e exsudantes abaixo da superfície.



Figura 12 – Gotejamento subterrâneo, vista da superfície.
(Fonte: [24])

Na Figura 13 é mostrada a instalação de um sistema, *Below Flow Flat*, desenvolvido pela empresa australiana Irrigation Water Technologies (IWT) [2], que utiliza um princípio misto: tubos perfurados são recobertos por um tecido na parte superior e por um plástico impermeável na parte inferior. Assim, a água sai pelos furos e é distribuída pelo tecido para o solo, logo abaixo das raízes da cultura a ser irrigada.



Figura 13 – Irrigação subterrânea por gotejamento e capilaridade subterrâneos.
(Fonte: [2])

A partir dos trabalhos de [11]–[13], [14] e [25], foi elaborado o quadro da Figura 14, com um resumo dos métodos de irrigação mais utilizados em todo o mundo.

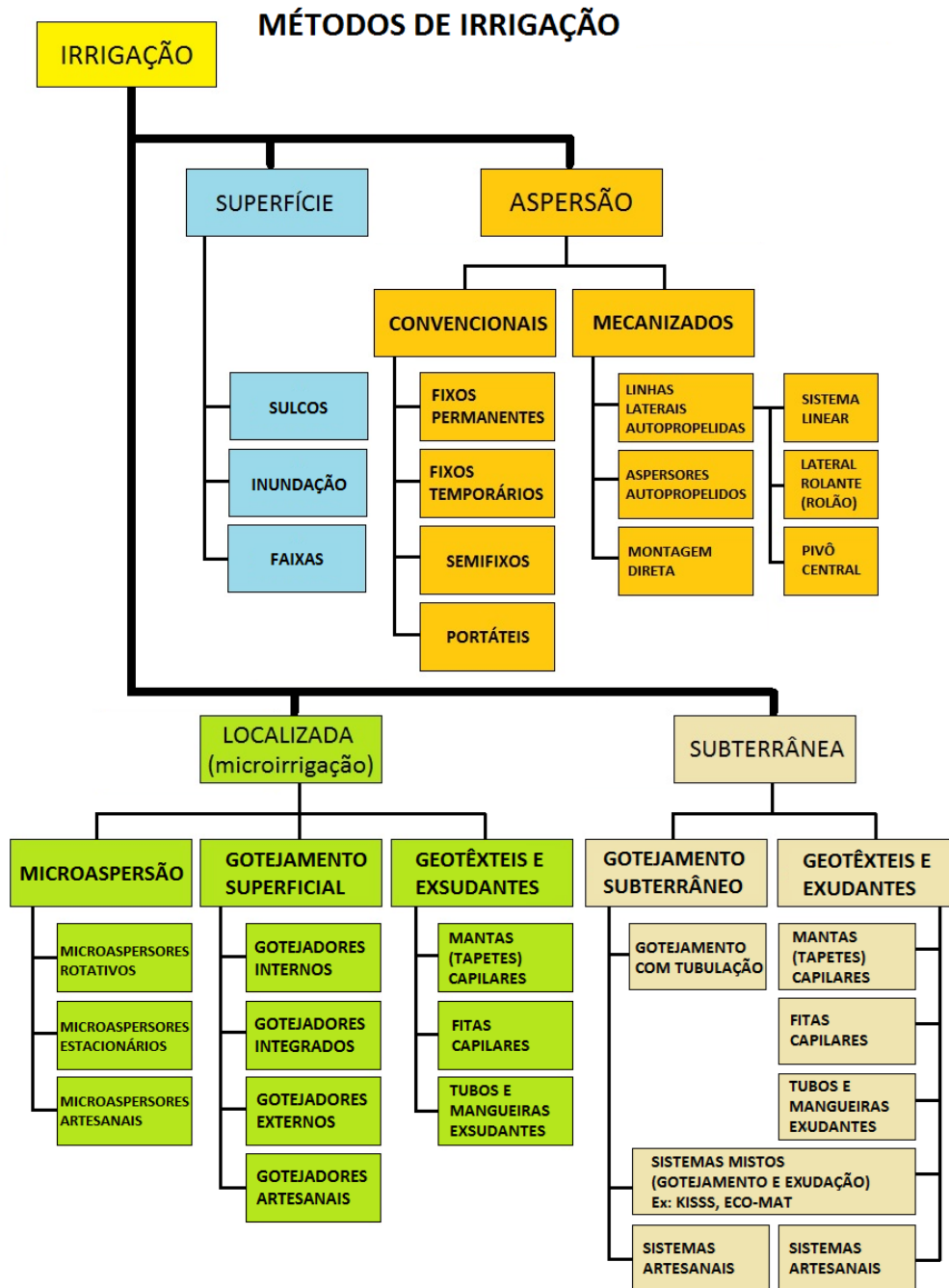


Figura 14 – Quadro resumo dos métodos de irrigação.
(Fonte: elaborado a partir de [11]–[13], [14], [25])

Por outro lado, em [26] os autores resumem os fatores que afetam a seleção do método de irrigação aplicado, por exemplo, à cultura do milho, como apresentado na Tabela 1. Observa-se que existem diversos fatores que afetam o desempenho de um sistema de irrigação, como a declividade, a taxa de infiltração da água no solo, a sensibilidade da cultura ao molhamento do solo e o efeito do vento, podendo os três primeiros afetarem diretamente o desempenho de sistemas de subirrigação ou irrigação subterrânea.

Tabela 1 – Fatores que afetam a seleção do método de irrigação.

Método	Fatores			
	Declividade	Taxa de Infiltração	Sensibilidade da Cultura ao Molhamento	Efeito do Vento
Superfície	Área deve ser plana ou nivelada artificialmente a um limite de 1%. Maiores declividades podem ser empregadas tomando-se cuidados no dimensionamento.	Não recomendado para solos com taxa de infiltração acima de 60 mm/h ou com taxa de infiltração muito baixa	Adaptável à cultura do milho, especialmente o sistema de sulcos.	Não é problema para o sistema de sulcos.
Aspersão	Adaptável a diversas condições	Adaptável às mais diversas condições	Pode propiciar o desenvolvimento de doenças foliares	Pode afetar a uniformidade de distribuição e a eficiência
Localizada	Adaptável às mais diversas condições.	Todo tipo. Pode ser usado em casos extremos, como solos muito arenosos ou muito pesados.	Menor efeito de doenças que a aspersão. Permite umedecimento de apenas parte da área.	Nenhum efeito no caso de gotejamento
Subirrigação	Área deve ser plana ou nivelada.	O solo deve ter uma camada impermeável abaixo da zona das raízes, ou lençol freático alto que possa ser controlado.	Adaptável à cultura do milho desde que o solo não fique encharcado o tempo todo. Pode prejudicar a germinação.	Não tem efeito.

(Fonte: [26])

Como a presente Tese tem um recorte na aplicação de têxteis para o desenvolvimento de sistemas simplificados de irrigação para o semiárido, é importante conhecer os tipos de irrigação que estão sendo utilizados nesta região e as oportunidades que podem surgir com tecnologias sociais que tenham como foco a melhoria dos processos de irrigação para os agricultores familiares. Estas informações são fundamentais para o entendimento da proposta deste estudo.

2.5 Irrigação no semiárido brasileiro

A irrigação localizada, especialmente o gotejamento superficial, tem apresentado um crescimento significativo no semiárido brasileiro, como descrito nas fontes a seguir, onde se apresentam exemplos de utilização deste tipo de irrigação, com êxito:

- Nas culturas de cebola, conforme descrito em [27], [28] onde, por exemplo, “através do Projeto Lago de Sobradinho, com o apoio técnico da Embrapa Semiárido, o produtor Neuwilton de Sousa implantou os sistemas, que resultaram em um rendimento de quase 500% em quatro meses de cultivo”. Segundo a Embrapa, a aplicação dos sistemas de fertirrigação e gotejamento na produção de cebola economiza cerca de 50% da água, 80% dos fertilizantes e 30% da mão de obra. Além da redução dos custos, acontecem a melhoria na qualidade e o aumento da produtividade”.
- Nas culturas de melão e melancia, como publicado em [29]: *“Seu Edvaldo Barbosa da Silva, com propriedade em Novo São Gonsalo, na zona rural de Sobradinho, tem mais de 20 anos que planta cebola e melão. Há pouco mais de 3, depois de contínuos insucessos com as culturas, esteve a ponto de largar o trabalho na roça e procurar outro meio de vida. ...Numa segunda, agora nos meses mais frios, a retirada saltou de 15 t/ha para quase 30 t/ha. Com resultados assim, seu Edvaldo, que começou com a área de teste de 1 ha, já expandiu o sistema de irrigação por gotejamento para mais 2,5 ha e, até o final do ano, junto com o filho, quer chegar a 10 ha. Nos seus planos não está mais abandonar a agricultura”.*

Diversos outros exemplos de utilização de irrigação localizada com a aplicação simultânea de fertilizantes, a chamada fertirrigação, podem ser encontrados no semiárido, como descritos por [25], [30], [31].

Por outro lado, o Centro de Pesquisa da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), localizado em Petrolina (PE), tem realizado diversos estudos para otimização da irrigação nesta região, incluindo estudos como gotejamento e microaspersão [32]. Todos estes fatores demonstram a importância que a irrigação localizada tem para o semiárido e a relevância do desenvolvimento de alternativas mais baratas para este tipo de irrigação, como é a proposta deste estudo.

2.6 Irrigação têxtil por capilaridade

No contexto da produção agrícola realizada por pequenos agricultores familiares do semiárido brasileiro, que normalmente dispõem de pouca água para a produção, fica evidente a importância da disponibilização de tecnologias de irrigação apropriadas para estes casos. Uma delas, ainda pouco estudada no semiárido, é a irrigação têxtil por capilaridade.

A ação capilar é entendida como o fluxo espontâneo de um líquido por um material poroso e pode ocorrer, inclusive, em oposição à força da gravidade. A ação capilar também é conhecida como movimento capilar ou capilaridade. É causada pela combinação de forças coesivas do líquido e forças adesivas entre o líquido e o material poroso. Coesão e adesão são dois tipos de forças intermoleculares, que puxam o líquido ao longo do material poroso [33].

Alguns exemplos de ação capilar incluem a subida de água nas paredes de uma casa, na parte inferior próxima a um solo húmido e o movimento da água pelo solo, a partir de um ponto molhado, como na irrigação por gotejamento.

É exatamente este fenómeno da capilaridade dos têxteis e do solo que motivou o presente estudo, que tem foco na utilização de resíduos têxteis para o desenvolvimento de sistemas de irrigação de baixo custo para utilização, prioritariamente, pelos agricultores familiares residentes no semiárido.

O estudo está em consonância com inovações no mercado internacional, onde são utilizadas, cada vez mais, tecnologias baseadas neste fenómeno do fluxo espontâneo de humidade em tecidos, para aplicação na agricultura e irrigação, em especial para a fabricação de fitas e telas para irrigação de pequenas e grandes áreas.

A seguir, são descritos alguns produtos, sistemas e tecnologias inovadoras aplicadas à irrigação localizada, seja superficial ou subterrânea. O objetivo, aqui, é mostrar que este tipo de irrigação tem uma tendência crescente de utilização, devido às diversas vantagens que são detalhadas no item 2.6.5. Estes produtos são constituídos, fundamentalmente, de reservatórios de água e de um conjunto de tubos plásticos, fitas ou tapetes sintéticos que permitem uma distribuição relativamente uniforme da água ao longo do terreno, ao nível do solo (superficial) ou das raízes das plantas (subterrânea), utilizando o princípio do fluxo espontâneo de humidade em têxteis.

2.6.1 Kisss (Capillary Irrigation Sub-Surface System)

Desenvolvidos, patenteados e comercializados pela empresa australiana Irrigation Water Technologies (IWT) [2], esta linha de produtos é comercializada visando a irrigação superficial e subterrânea de alto desempenho.

Esta tecnologia está incluída no conceito de Irrigação Têxtil Subterrânea (ITS), uma tecnologia relativamente nova na irrigação, onde a água é transferida para o solo pela

superfície de um tecido que forma um irrigador contínuo, diferente dos sistemas localizados que usam gotejadores ou aspersores, que formam zonas molhadas intercaladas por zonas mais secas. Segundo o fabricante, a ITS dispersa a água adequada à absorção das raízes da planta, melhorando o desempenho do sistema de irrigação.

Entre os produtos da linha KISSS da IWT [2], estão os que se apresentam nas alíneas seguintes.

2.6.1.1 Below Flow Flat (BFF)

O produto é constituído de um tubo plástico, com furos a intervalos regulares, recoberto por uma camada inferior de plástico impermeável e por uma camada superior de tecido permeável, de modo que, sob pressão controlada, a água que sai dos pequenos furos é espalhada para o terreno em volta, mantendo uma humidade ideal para a cultura, na profundidade correta das raízes, conforme mostra a Figura 15.



Figura 15 – *Below Flow Flat*.
(Fonte: [2])

Segundo o fabricante, é “o mais eficiente de todos os produtos KISSS e adequado para a maioria das instalações de irrigação, que fornece água diretamente para a zona da raiz. Promete uma molhagem uniforme, uma vez que apenas uma pequena quantidade de água é perdida por evaporação, por escoamento superficial ou para o subsolo. Ainda segundo o fabricante, evita o problema do bloqueamento dos emissores (furos), comum nos sistemas de irrigação por gotejamento subterrâneos tradicionais” [2].

2.6.1.2 Below Flow Wrap (BFW)

Possui estrutura semelhante ao dispositivo anterior (BFF), no entanto, possui somente uma costura, pois o tecido envolve todo o tubo perfurado. É mais estreito e foi desenvolvido para

uso em instalações com curvas apertadas, terreno irregular e em pequenos quintais (Figura 16). Segundo o fabricante, o dispositivo permite uma aplicação altamente uniforme e económica de água nas culturas, utilizando o princípio da capilaridade.



Figura 16 – *Bellow Flow Wrap*.
(Fonte: [2])

A água sai por pequenos furos no tubo plástico e satura todo o tecido, movimentando-se por todo o seu comprimento, funcionando como 'um emissor contínuo' para a região circundante do solo, permitindo o transporte de água uniforme e contínuo para a zona raiz da planta [34].

2.6.1.3 Ebb & Flow

O Ebb & Flow é um sistema de rega inferior por capilaridade, ou seja, a água é fornecida para a base do vaso por um tapete. A água move-se para cima, dentro do vaso, também por capilaridade (Figura 17), diferentemente do caso da rega por aspersão ou com o uso de regadores manuais, que são sistemas de rega de topo, onde a água de irrigação se move para baixo através do meio e sai na base do vaso.



Figura 17 – *Ebb & Flow*.
(Fonte: [2])

Como mostra a Figura 18, o tapete Ebb & Flow tem três camadas: uma camada impermeável na base, que evita perdas de água para o solo; uma camada intermediária de geotêxtil, que distribui a água; e uma camada superior de tela sintética que protege o geotêxtil de danos mecânicos e reduz a evaporação.

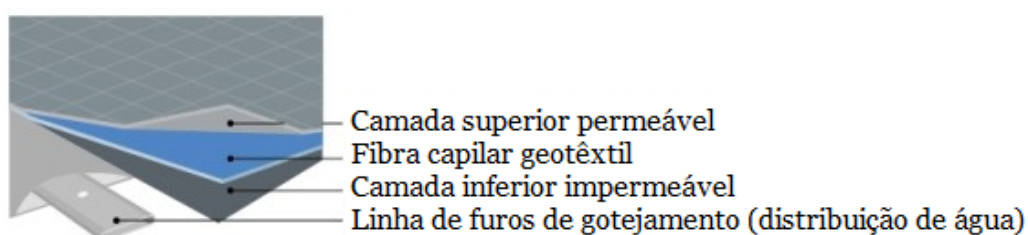


Figura 18 – Princípio de funcionamento do *Ebb & Flow*.
(Fonte: [2])

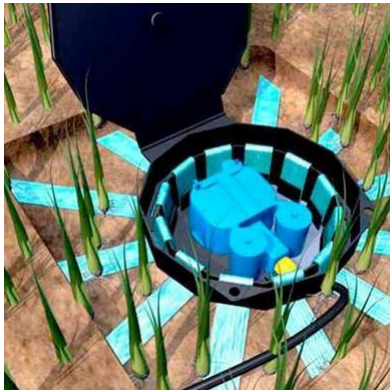
A água é fornecida para a camada de geotêxtil por linhas de irrigação por gotejamento em ambos os lados do tapete e transportada pelo fenômeno da capilaridade. Segundo o fabricante, foi projetado para atender às necessidades de água das plantas. Baseado na tecnologia KISSS, o sistema elimina a necessidade de uso de regadores. Quando comparado com os sistemas de rega tradicionais, o Ebb & Flow pode economizar até 60% o consumo de água.

2.6.2 Aquabox

A empresa inglesa Autopot Watering Systems produz e comercializa uma série de equipamentos e sistemas para irrigação de pequenas áreas, para residências, hortas e estufas. Segundo o fabricante, os produtos foram projetados para viabilizar a irrigação automática, por exemplo, em vasos e canteiros. Dentre os produtos disponíveis, os que estão mais diretamente relacionados com a irrigação por capilaridade são o Aquabox Spyder e o Aquabox Straight [3], explicados em maiores detalhes a seguir.

2.6.2.1 Aquabox Spyder

Neste produto, as extremidades de fitas de material sintético são imersas em um reservatório de água no centro da caixa, de modo que a água é distribuída, por capilaridade, para uma área de cerca de 1.2 m². Na Figura 19(a) é apresentada uma visão interna do reservatório central, equipado com válvula de controle de nível e onde ficam imersas as extremidades das fitas porosas que conduzem a água para o terreno. Na Figura 19(b) é apresentada uma visão geral da instalação do produto em uma pequena horta, com o detalhe do reservatório de água externo.



(a)



(b)

Figura 19 – Aquabox Spyder.
(Fonte: [3])

Segundo um distribuidor deste sistema [35]:

“O Aquabox é projetado para ser instalado diretamente no solo, no qual as esteiras absorventes do sistema distribuem a água a partir do Aquabox. O Aquabox assegura que suas plantas estarão irrigadas por dias ou semanas sem necessidade de abastecer o sistema. Como ele não requer eletricidade ou bombas, somente uma conexão com um reservatório de água, é ideal para loteamentos e jardins de casas”.

2.6.2.2 Aquabox Straight

Semelhante ao Aquabox Spyder, a versão Straight possui saídas somente para duas fitas, uma de cada lado da caixa, como apresentado na Figura 20(a), visão interna, e na Figura 20(b), detalhe da técnica de instalação. O funcionamento é semelhante ao do produto anterior, com a diferença de que foi projetado para ser utilizado prioritariamente em canteiros estreitos.



(a)



(b)

Figura 20 – Aquabox Straight.
(Fonte: [3])

De acordo com os fabricantes das duas linhas de produtos supracitados, KISSS e Aquabox, estes tipos modernos de irrigação trazem diversos benefícios, como referido em [2] e [35]:

- Economia de água de até 60% em comparação aos sistemas de irrigação convencionais;
- Fornece água diretamente para a zona de raiz;
- Elimina evaporação e escoamento superficial;
- Reduz as perdas de água causadas por drenagem profunda e tunelamento (processo pelo qual a água chega à superfície do solo);
- Utilização da quantidade correta de água para uma determinada cultura;
- Aumenta a eficiência de fertilizantes;
- Permite utilização segura, eficaz e eficiente de água reciclada;
- Reduz a propagação de ervas daninhas;
- Reduz vandalismo e danos ao sistema, devido à sua instalação abaixo da superfície;
- Reduz custos e tempo de manutenção;
- Os sistemas podem ser operados de modo que a superfície permaneça seca, enquanto as raízes estarão irrigadas;
- Pode ser totalmente automatizado.
- Não há o problema do entupimento dos furos, frequente no caso da irrigação por gotejamento tradicional.

2.6.3 Poritex

A empresa Textbor S. L., sediada em Andorra, fabrica e comercializa uma série de têxteis técnicos. Um deles é base para o Poritex, uma mangueira de poliéster, porosa, para utilização no que a empresa chama de irrigação por exsudação, apresentada nas Figuras 21, 22 e 23.

Segundo o fabricante do produto Poritex:

PORITEX é um tubo têxtil tecido em poliéster e impregnado com uma resina que é porosa em toda a sua superfície e comprimento. A água é aplicada no solo por exsudação através dos pequenos poros da parede, formando uma linha de humidade contínua ampla e uniforme em todo o comprimento do PORITEX.

No sistema poroso que é o solo, o tubo poroso forma um sistema capilar contínuo com o solo ao redor, todo o conjunto sujeito às leis hidráulicas que governam o estado e o movimento da água no solo. Portanto,

fornecer água ao tubo poroso PORITEX é equivalente a fornecer água a todo esse sistema de tubos porosos no solo.

A irrigação por exsudação é mais eficaz quando os tubos porosos são enterrados, pois o efeito da localização da irrigação contribui com água e nutrientes (fertirrigação) diretamente para o sistema radicular das plantas cultivadas [4].



Figura 21 – Poritex em uma aplicação de irrigação superficial.
(Fonte: [36])



Figura 22 – Poritex em uma aplicação de irrigação de tomate.
(Fonte: [37])



Figura 23 – Detalhe da exsudação na mangueira Poritex.
(Fonte: [37])

Em uma comparação entre a irrigação com tubos exsudantes e a irrigação por gotejamento, em [38] os autores listam algumas vantagens da primeira:

- É mais eficiente: como a quantidade de água emitida pelo tubo depende das necessidades do solo e, portanto, da planta, a rega excessiva é quase impossível. Além disso, o fato de estar enterrado reduz ao máximo as perdas por evaporação;
- Adequado para terrenos um pouco inclinados: sendo controlada pela força da capilaridade e pelas diferenças de pressão, ele compensará, em certa medida, a gravidade (que de outra forma tenderia a irrigar mais em áreas baixas e menos em áreas mais altas). É adequado para declives não superiores a 3%;
- Fornece água para as raízes: a possibilidade de enterrá-lo permite aplicar água diretamente onde é necessário: nas raízes. Isso também torna mais eficiente a economia e evita a perda de nutrientes;
- Evita poças de água: o sistema é auto-regulado para que não se tenha problemas com inundações de água;
- É mais durável: o material é forte e durável. Além disso, o fato de estar enterrado impede que os raios solares degradem o material. Nas águas calcárias, o entupimento da cal é muito menor: a cal solidifica quando a água evapora. Quando enterrada, a evaporação não ocorre, portanto não há entupimento dos poros da mangueira;
- Adaptável a qualquer espaço: as mangueiras são muito fáceis de cortar e adaptar a qualquer espaço: grandes extensões de horta, jardins, terraços e pequenos vasos de flores;
- Não é necessário reconfigurá-lo quando alteramos a colheita: com o gotejamento, é um problema quando se troca a safra, uma vez que a estrutura de plantio de cada um é diferente, forçando a alteração da disposição dos gotejadores para não perder eficiência. Com este sistema, o fluxo é contínuo ao longo de seu comprimento;
- É mais estético: quando enterrado, o sistema de tubos não está à vista, o que o torna perfeito para jardins ou terraços, pois passa despercebido;
- Não requer altas pressões de água: neste sistema, as necessidades de pressão são muito baixas e podem trabalhar a partir de 0.2 bar, permitindo até a irrigação por gravidade. Isto é perfeito para terraços ou áreas sem uma torneira nas proximidades. Um tambor de água levemente elevado será suficiente para irrigar suavemente;
- Instalação simples: você não precisa ser um especialista para instalá-lo, a mangueira é cortada com facilidade e se encaixa perfeitamente com os acessórios de irrigação por gotejamento padrão da indústria.

2.6.4 Eco-Mat

Este produto foi projetado para adequar-se a diversas áreas de difícil irrigação. O fabricante de ECO-MAT e do PLD-ESD refere que estes produtos são novas ferramentas de irrigação para que o profissional de paisagismo possa resolver alguns problemas de rega para esta área. Foi projetado para atender a uma variedade de áreas difíceis de irrigar, utilizando uma combinação específica de linhas de tubos emissores e “tela têxtil” (*fleece*), que dispersam água sob a superfície [39].

Na Figura 24 é apresentado um esquema do ECO-MAT. Este tipo de produto, já comercial, demonstra que os desenvolvedores de sistemas de irrigação estão levando em conta, cada vez mais, a questão da economia de água.

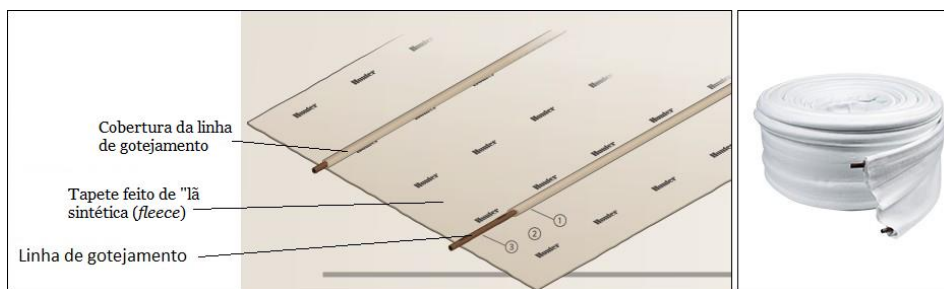


Figura 24 – ECO-MAT.
(Fonte: [39])

Além disso, estes novos sistemas estão sendo projetados para garantir a produção de uma zona de humedecimento do solo mais uniforme ao nível das raízes, reduzindo-se também a perda de água, tanto para a parte profunda do solo quanto para a superfície. No entanto, o desempenho deste tipo de sistema dependerá de vários fatores, como o tipo de solo, desníveis, entre outros.

2.6.5 Resumo das vantagens da irrigação subterrânea

Com base nas informações descritas nos itens anteriores, obtidas dos fabricantes de dispositivos e sistemas para irrigação subterrânea, e considerando também o que foi descrito em [38], elaboramos um resumo das vantagens deste tipo de irrigação:

- A irrigação subterrânea é muito apropriada para os cultivos que não sejam sazonais. Os cultivos de plantas perenes podem ter instalações fixas e, se estas estiverem enterradas não atrapalham os cultivos necessários
- Permite deposição da água e dos fertilizantes diretamente na zona radicular.
- Garante maior uniformidade da humidade.

- Permite economia de água, energia e fertilizantes.
- Reduz o escoamento lateral e a evaporação, que são praticamente nulos.
- Elimina a acumulação de sais.
- Reduz a proliferação de mato superficial.
- Reduz os custos de manutenção do sistema.
- É menos influenciada pelos agentes externos que influenciam a irrigação, como os ventos, etc.
- É de fácil instalação e manuseio.
- Provoca esfriamento da zona das raízes das plantas.

Portanto, embora estes sistemas comerciais de irrigação subterrânea já estejam disponíveis no mercado internacional, eles são inacessíveis aos pequenos produtores rurais do semiárido brasileiro, devido ao custo elevado e dificuldades de importação. No semiárido, poderiam ser muito úteis, considerando a questão climática (temperaturas elevadas e alta taxa de evaporação) e também a baixa disponibilidade de água para irrigação. Isto ressalta a importância de serem desenvolvidas alternativas para utilização deste método de irrigação por pequenos agricultores familiares do semiárido, a partir da disponibilização de sistemas semelhantes, simples e que possam ser construídos pela própria população beneficiária.

2.6.6 Fibras têxteis em componentes de irrigação

Os fabricantes dos produtos descritos nas seções anteriores, aplicados à irrigação por capilaridade e por exsudação, normalmente não disponibilizam detalhes sobre as fibras e materiais constituintes destes produtos. Alguns dos artigos e especificações técnicas consultadas revelam os materiais de que são feitos sem, no entanto, estarem disponíveis especificações técnicas mais detalhadas, como composição percentual, título dos fios, densidade ou se o elemento ativo de condução de água (a manta ou tapete) é tecido ou não-tecido.

A partir das consultas realizadas online nos sítios eletrônicos dos respectivos fabricantes e distribuidores, uma vez que, durante esta investigação, estes dispositivos não estavam sendo comercializados no Brasil, foi possível identificar que todos os produtos pesquisados são constituídos de fibras sintéticas. No entanto, não é descartada a existência de outros produtos que tenham, em sua composição, um percentual de fibras naturais.

Na Tabela 2 são apresentadas informações relevantes acerca dos materiais dos produtos estudados, para irrigação por capilaridade e por exsudação.

Tabela 2 – Materiais dos produtos para irrigação por capilaridade e por exsudação.

Fabricante	País de Origem	Produto	Materiais	Tecido ou não-tecido*	Referência
IWT	Austrália	Below Flow Flat	Poliéster e polietileno	Não disponível	[40]
		Below Flow Wrap			
		Ebb & Flow			
Autopot	Inglaterra	Aquabox Spyder	Não disponível	Não disponível	[3]
		Aquabox Straight			
Hunter-industries	EUA	ECO-MAT	Polipropileno	Tela têxtil (<i>fleece</i>)	[39]
		ECO-PLD			
Textbor S. L.	Andorra	Poritex	Poliéster	Tecido	[4]

(*) Característica da parte ativa (que conduz ou exsuda a água).

Como veremos no próximos capítulos deste estudo, a grande maioria dos resíduos têxteis recolhidos em indústrias de confeções no Estado da Paraíba também foi de fibras sintéticas e sua reutilização pode contribuir para a redução dos impactos ambientais causados pela indústria têxtil na região semiárida, uma vez que pelo menos parte destes resíduos não seriam mais descartados de forma indiscriminada em lixões a céu aberto.

2.7 A indústria têxtil e de confeções no Brasil e na Região Nordeste

2.7.1 A indústria têxtil e de confeções no Brasil

O setor têxtil e de confecção é um dos principais mercados de geração de emprego e renda no mundo, produzindo constantemente novos produtos e ofertando diversos serviços para a população. Este setor apresenta características distintas dos demais, uma vez que está relacionado à arte, cultura, negócios, empreendedorismo, artesanato e altas tecnologias com diferentes níveis de complexidade, além de utilizar conhecimentos das áreas de química, física, biologia, sociologia, história, entre outros [41].

Desde o século XIX, quando a indústria têxtil surgiu e foi instituída no Brasil, que benefícios contemplaram o país de um modo geral. Peculiarmente no que concerne à oportunidade e geração de empregos, tanto de modo informal, quanto formal, esta foi aumentando até hoje, significativamente, quando comparado ao tempo em que predominava a atividade têxtil e de confecções domésticas, período que antecede o estabelecimento da indústria no Brasil acima mencionada.

De acordo com a ABIT – Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confeção [42], o setor têxtil tem grande importância na economia brasileira, como demonstram os dados a seguir, referentes a 2018 (atualizados em dezembro de 2019):

- Faturamento da Cadeia Têxtil e de Confeção: US\$ 48,3 bilhões;
- Exportações (sem fibra de algodão): US\$ 2,6 bilhões;
- Importações (sem fibra de algodão): US\$ 5,7 bilhões;
- Investimentos no setor: US\$ 894,4 milhões;
- Produção média de confecção: 8,9 bilhões de peças; (vestuário, meias e acessórios de cama, mesa e banho);
- Produção média têxtil: 1,2 milhão de toneladas;
- Trabalhadores: 1,5 milhão de empregados diretos; e 8 milhões, se adicionarmos os indiretos e efeito renda, dos quais 75% são de mão de obra feminina;
- Segundo maior empregador da indústria de transformação, perdendo apenas para alimentos e bebidas (juntos);
- Segundo maior gerador do primeiro emprego;
- Número de empresas: 25,2 mil em todo o País (formais);
- Quarto maior produtor e consumidor de denim do mundo;
- Quarto maior produtor de malhas do mundo;
- Representa 16,7% dos empregos e 5,7% do faturamento da Indústria de Transformação;
- A moda brasileira está entre as cinco maiores Semanas de Moda do mundo;
- O Brasil tem mais de 100 escolas e faculdades de moda;
- Brasil é referência mundial em design de moda praia, jeanswear e homewear, tendo crescido também os segmentos de fitness e lingerie.

De acordo com o Instituto de Estudos e Marketing Industrial (IEMI), em 2009 aproximadamente 83% das empresas eram de confecções, predominando micro e pequenas empresas, com a utilização intensa da mão de obra, promovendo um relevante número de empregos no setor [43].

De acordo com Viana [44], a indústria de vestuário caracteriza-se pela variação de escala, onde estão envolvidas micro, pequenas e grandes empresas, enfatizando as pequenas e microempresas. Segundo o autor, em 2005 aproximadamente 60% das empresas de confecção do Nordeste eram microempresas e, contabilizando também as pequenas empresas, este percentual chegava a 95%. Segundo a ABIT [45], a Indústria Têxtil no Brasil é composta maioritariamente por micro e pequenas empresas, que somam juntas 8.600 unidades locais e representam 84.5% do total de estabelecimentos que possuem trabalhadores com contrato.

2.7.2 A indústria têxtil e de confecções na Região Nordeste

Mesmo considerando a alta capacidade da geração de emprego na área têxtil, sua principal característica ainda é o alto nível de informalidade e o baixo nível de qualificação técnica, entendendo que, por se tratar de um setor de suma relevância na Região Nordeste, finda por gerar empresas informais e ofertar oportunidade de emprego a grande número de pessoas, de maneira também informal. Até porque as empresas de confecção naturalmente iniciam-se em locais informais, como no quintal, na garagem ou numa área nos fundos da casa, com os trabalhadores sendo os próprios membros da família.

Com este nível de informalidade, geralmente não são consideradas as normas de segurança necessárias. De acordo com Viana [44], “a indústria do vestuário do Nordeste está espacialmente distribuída nos diversos estados da região, com focos de concentração em cinco deles: Ceará, Pernambuco, Bahia, Paraíba e Rio Grande do Norte. Porém, o estado que mais se destaca na região é o Ceará, exatamente por ser o segundo maior em produção de confecções do Brasil, que responde por 16.5% do PIB estadual. Essa produção baseia-se praticamente na capacidade de abastecimento do mercado interno de confecções, com uma pequena pauta de exportação.

Segundo Bezerra [46], de entre os principais aglomerados têxteis do Brasil, estão destacadas as regiões Metropolitanas de São Paulo (SP), o Vale do Itajaí (SC) e Campinas (SP) tanto em número de empregos quanto de empresas. Já no Nordeste a região que se destaca é a Metropolitana correspondente a Fortaleza, e também os aglomerados de mesorregiões da Mata Paraibana (PB), Leste Potiguar (RN), Agreste Pernambucano e Região Metropolitana de Salvador. O segundo maior polo de confecções do Nordeste situa-se no Estado de Pernambuco, localizado nos municípios de Caruaru, Santa Cruz do Capibaribe e Toritama. Também aqui, novamente, o nível de informalidade é muito grande, ao se comparar com o polo do Estado do Ceará, em linhas gerais, preço e qualidade são menores, no entanto, cai

a sua participação no mercado regional devido aos incentivos realizados nos estados do Ceará, Paraíba, Bahia e Rio Grande do Norte [44].

No Estado da Bahia, as indústrias de confecções, caracterizadas por micro e pequenas empresas, estão situadas principalmente em Salvador e em Feira de Santana, polo importante, pelo fato da existência do Polo Petroquímico, em Camaçari.

Ainda na Região Nordeste, destaca-se a Paraíba, nos municípios de João Pessoa e Campina Grande, com grande importância para a produção de vestuário, também realizada por pequenas e microempresas. No Estado do Rio Grande do Norte, a produção de confecções está concentrada na área metropolitana de Natal com foco na produção de camisetas de malha para o mercado internacional.

Como acima descrito, o Nordeste destaca-se pela criação de um grande número de oferta de emprego, na sua maioria informais, nos setores têxtil e de vestuário, tendo como referência os estados que identificam o maior número de contratos laborais do setor: Ceará, Paraíba, Rio Grande do Norte e Bahia como representado na Tabela 3.

Ao analisar a Tabela 3, nota-se que o Nordeste oferecia, em 2010, uma percentagem de 16.9% dos empregos formais gerados pelo setor no Brasil, destacando-se o Ceará, que possui, por sua vez, 31.2% do total da Região. Observa-se que Pernambuco, um dos Estados de grande importância no setor, possui um número menor do que a Paraíba, Rio Grande do Norte e Bahia, fato explicado pelos incentivos à formalização dos empregos realizados nesses estados e pelo alto nível de informalidade predominante em Pernambuco [44].

Tabela 3 – Número de contratos na indústria têxtil.

Estado	Contratos (2002)	Contratos (2010)	Crescimento ao ano (%)	Contratos (2012)	Crescimento ao ano (%)
Alagoas	1.047	642	-38.68	690	+7.47
Bahia	7.631	7.242	-5.09	7.764	+7.21
Ceará	14.837	17.791	+19.90	17.058	-4.12
Maranhão	434	283	-34.79	270	-4.59
Paraíba	7.989	9.068	+13.50	8.462	-6.68
Pernambuco	4.133	6.003	+45.24	6.224	+3.68
Piauí	150	182	+21.33	187	+2.75
Rio Grande do Norte	7.230	7.908	+9.34	6.562	-17.02
Sergipe	7.631	4.446	-41.74	4.163	-6.36
Nordeste	47.317	53.565	+13.20	51.380	-4.08
Brasil	279.826	312.690	11.74	304.147	-2.73

(Fonte: [44])

Outro levantamento realizado pelo BNB/ETENE [47] aponta que, em 2017, o valor bruto da produção da indústria têxtil do Brasil alcançou quase R\$ 44,3 bilhões, conforme referência o IBGE. Para o Nordeste, este valor totalizou quase R\$ 6,9 bilhões, equivalente a

15,6% do total do Brasil, um pouco a mais relativamente à participação da economia do Nordeste no Brasil. Ceará (4,37%), Bahia (3,23%) e Paraíba (3,09%) foram os Estados que tiveram os maiores valores brutos da produção industrial têxtil, naquele ano.

Constata-se, a partir desses dados, que o setor têxtil nordestino é importante para a região, tanto no que diz respeito à geração de empregos (formais e informais), quanto no âmbito da geração e transferência de renda para o Nordeste, mobilizando o comércio interno.

2.8 Os resíduos têxteis no Mundo e no Brasil

2.8.1 Os resíduos têxteis no Mundo

A importância do setor têxtil e de confecção para o mercado mundial apresenta uma trajetória histórica marcada pelos processos de desenvolvimento da própria sociedade contemporânea, tornando-se a principal razão para o início da revolução industrial em diversos países, dentre eles o Brasil [48].

O crescimento da população mundial, combinado com a melhoria global da qualidade de vida, tem resultado em um aumento constante do consumo de fibras têxteis, desde o início das últimas décadas [49] o que leva a uma maior quantidade de resíduos de fibras pós-industriais e pós-consumidores [50]. Impulsionados por um mercado de moda em constante mudança e em associação com roupas de preços mais baixos, os ciclos de vida da maioria das roupas estão ficando mais curtos. Essa conjuntura resulta em uma maior quantidade de resíduos de têxteis.

A geração de resíduos é um fenômeno inevitável que ocorre nas indústrias diariamente onde volumes e composições variam conforme o seu segmento de atuação.

Entende-se por resíduo os restos e sobras provenientes de um processo produtivo, e que são considerados como inúteis, indesejáveis ou descartáveis. A reciclagem, em geral, trata de transformar os resíduos em matéria prima, gerando economia no processo industrial [51].

Dados da União Europeia, em 2004, apontavam para que os resíduos têxteis gerados na EU-27 poderiam ser estimados em aproximadamente 12.2 milhões de toneladas (Mt), e deste total estima-se que apenas 3.9 milhões de toneladas seriam materiais reciclados na indústria têxtil ou na produção de energia (32%). No entanto, os dados disponíveis não

possuem garantias de comparabilidade devido às diferentes metodologias na recolha dos dados nos diferentes países comunitários [52].

Na União Europeia, a Directiva Comunitária 2008/98/EC estabelece os conceitos básicos e as definições relacionadas com a gestão de resíduos, tais como as definições de resíduos, reciclagem e reutilização, que tem como objetivo tornar mais fácil para os cidadãos e empresas da UE o acto de reciclar. Esta directiva estabelece a estrutura preferida de tratamento para os resíduos, onde a deposição em aterro sanitário (ou outras formas de deposição) é a opção menos preferível, e a prevenção de resíduos é a opção de tratamento mais preferível. A reutilização de têxteis encontra-se nos níveis mais elevados de preferência.

No Reino Unido, em 2008, a quantidade total de material têxtil reciclado era de 27.000 toneladas, sendo muito deste material reciclado mecanicamente em fibras para não-tecidos, bases para alcatifa, enchimento mobiliário, e produtos para a indústria automóvel, tais como isolamento acústico e preenchimento interior. No entanto, estes mercados tradicionais para os reciclados têxteis oferecem muito pouca oportunidade de valor acrescentado. Algumas oportunidades que se mostram promissoras para aplicação dos reciclados têxteis são: compósitos, betão reforçado com fibras têxteis, reforços de solos, sistemas de filtragem, material para horticultura e ainda na valorização energética dos resíduos [53].

O Departamento Britânico para o Meio Ambiente, Alimentação e Assuntos Rurais (DEFRA) encomendou uma série de projetos em áreas-chave, um dos quais é relacionado à "maximização da reutilização e reciclagem de vestuário e têxtil no Reino Unido". O objetivo deste projeto foi o de atualizar dados sobre a qualidade e quantidade de consumidores de vestuário e a produção de resíduos têxteis no Reino Unido, apresentando e avaliando estratégias para aumentar a reutilização e reciclagem, a fim de desviá-los dos aterros. Isto incluiu uma avaliação detalhada das barreiras e oportunidades para maximizar a reutilização e reciclagem, a viabilidade técnica e económica de diferentes opções, os requisitos de infraestruturas, e exemplos de boas práticas de outros países [49].

Em Portugal, em 2009, era apontada uma estimativa de 44 mil toneladas de resíduos têxteis reciclados, enquanto que a quantidade depositada em aterros seria de 161 mil toneladas, o que equivale a cerca de 25% dos resíduos têxteis encaminhados para reciclagem [54]. O Decreto-lei N° 73/2011, do Governo de Portugal, dá prioridade à prevenção da produção de resíduos e apoia a sua reutilização e reciclagem. E considera importante promover o pleno aproveitamento do novo mercado baseado em produtos de resíduos. É prevista a utilização

de 5% de materiais reciclados em empreitadas de obras públicas. Em Portugal, os resíduos gerados pelo setor dos têxteis e vestuário são classificados de acordo com a lista europeia de resíduos (LER), definida na Portaria 209/2004.

Vê-se, portanto, o grande problema que é os resíduos têxteis. A nível mundial, estima-se, também num cenário conservador, que somente 20% dos resíduos são reutilizados/reciclados, os 80% restantes acabam em lixões e nos poucos aterros sanitários existentes.

2.8.2 Os resíduos têxteis no Brasil

No Brasil, devido ao grande volume de produtos têxteis, correspondendo a cerca de 9.2 bilhões de peças por ano, a maior parte dos resíduos gerados não são reaproveitados, sendo, muitas vezes, descartados de maneira inadequada no meio ambiente [55].

A legislação ambiental brasileira confere ao fabricante a responsabilidade pelo destino adequado dos resíduos, com a determinação do tratamento prévio para a disposição final ou armazenamento temporário, de forma a não comprometer o meio ambiente [56].

Da imensa quantidade de resíduos têxteis, que no Brasil corresponde a cerca de 175 mil toneladas anuais, mais de 90% é desperdiçada [57]. Com a Lei Nº 12.305, que integra a Política Nacional de Resíduos Sólidos, e decreto regulamentador [58] o governo brasileiro considera prioritário reforçar a prevenção da produção de resíduos e fomentar a sua reutilização e reciclagem.

Tendo em vista a correta gestão dos resíduos por partes das empresas brasileiras, o governo brasileiro considera prioritário reforçar a prevenção da produção de resíduos e fomentar a sua reutilização e reciclagem com vista a prolongar o seu uso na economia, antes de os devolver em condições adequadas ao meio natural. Além disso, considera importante promover o pleno aproveitamento do novo mercado organizado de resíduos, como forma de consolidar a valorização dos resíduos, com vantagens para os agentes económicos, bem como estimular o aproveitamento de resíduos específicos com elevado potencial de valorização [58].

Por outro lado, de acordo com dados da ABIT [45], a produção de têxteis no Brasil oscilou entre 1.3 (2017) e 1.6 milhões de toneladas (2016). Como dito anteriormente, o Brasil produz cerca de 175 mil toneladas de resíduos têxteis por ano [57]. Assim, pode-se calcular um desperdício, em todas as etapas de produção, de cerca de 12%, considerando-se o cenário mais conservador (produção de 2017). Assim, considerando-se a percentagem de

desperdício e a percentagem da produção industrial têxtil da Paraíba em relação ao Brasil (3,9%), conforme descrito por Júnior [47], pode-se deduzir, indiretamente, que a Paraíba produziu cerca de 5.400 toneladas de resíduos têxteis em 2017. Daí a grande oportunidade de utilização de resíduos têxteis, no desenvolvimento de dispositivos que possibilitem irrigação mais eficiente, por capilaridade, exatamente na região que mais precisa, o Nordeste, inserido em grande parte do semiárido brasileiro, como descrito anteriormente.

2.8.3 Os resíduos têxteis e a sustentabilidade

Os exemplos a seguir destacam alguns cenários, situações e práticas preocupantes que acontecem na cadeia produtiva de têxteis e de moda atual, e que não estão de acordo com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas:

- No mundo, segundo relatório da Ellen Macarthur Foundation [59], a indústria da moda desperdiça um caminhão de lixo têxtil por segundo. O setor é responsável pela emissão de 1,2 bilhões de toneladas de gases de efeito estufa por ano. O mercado têxtil cresceu em torno de 5,5% a cada ano, com 2,4 trilhões de dólares anuais movimentados no mundo todo, o que colocaria a indústria da moda como a 7^a maior economia do planeta, se ela fosse um país. Tanto lucro, infelizmente, vem acompanhando por um enorme desperdício de tecidos e altas emissões de carbono. [60]. Outros dados daquele relatório: por ano, 500 bilhões de dólares são jogados fora com roupas que foram pouquíssimo usadas e que quase nunca são recicladas;
- Fabricação de uma calça jeans consome 11 mil litros de água. Por outro lado, no mundo, 1 bilhão de pessoas não têm acesso à água potável e 4 mil crianças morrem diariamente por causa da contaminação [61];
- Apenas como exemplo de ação recorrente na indústria de moda, a marca de luxo Burberry queimou roupas, perfumes e acessórios no valor de R\$ 141 milhões. A famosa marca de moda de luxo britânica incinerou roupas, acessórios e perfumes não vendidos no valor de 28,6 milhões de libras em 2017, para preservar a marca [62];

Um levantamento feito por EDGE [63] apresenta dados estatísticos alarmantes sobre os resíduos e impactos ambientais gerados pela indústria do vestuário:

- Entre 2000 e 2014 a produção de roupas dobrou, com o consumidor médio comprando 60% mais peças de vestuário, em comparação com 15 anos atrás. No entanto, cada item de vestuário agora é mantido somente por metade do tempo;
- Quase 20% da água residual global é produzida pela indústria da moda;

- O cultivo de algodão é responsável por 24% dos inseticidas e 11% dos pesticidas, apesar de usar apenas 3% das terras aráveis do mundo;
- 20.000 litros é a quantidade de água necessária para produzir um quilograma de algodão, que é o equivalente a uma única camiseta e calça jeans;
- A indústria têxtil é uma das três principais indústrias de desperdício de água da China, descarregando mais de 2,5 bilhões de toneladas de águas residuais por ano.
- Cerca de 15% do tecido destinado à roupa acaba no lixo. Essa taxa de resíduos é tolerada em todo o setor há décadas.
- De acordo com Christina Dean, da Redress, a quantidade de resíduos gerados na China não são conhecidos, com estimativas de que a China em breve fará 50% das roupas do mundo. As estimativas dos resíduos têxteis são impressionantes: diariamente, em Hong Kong, cerca de 253 toneladas de têxteis são enviadas para aterros sanitários.

Por outro lado, é possível a reutilização de resíduos têxteis de inúmeras maneiras como, por exemplo, no isolamento dos carros ou recheio de assentos, onde malhas e tecidos de lã e outros materiais são esfarrapados e preenchem estes espaços. Outros tipos de tecido podem ser reprocessados em fibras para estofos e isolamento [49] e para materiais de construção. A recolha de resíduos têxteis para a benfeitoria de novos produtos ou componentes é fundamental, principalmente para o desenvolvimento da economia e uso consciente ecológico.

Segundo Lu & Hamouda [49],

A disposição de resíduos têxteis é uma questão crucial para a indústria têxtil em todo o mundo. Todos os anos, toneladas de têxteis são jogadas fora com o lixo doméstico e acabam em aterros sanitários. Estimativas sugerem que até 95% dessas roupas podem ser usadas novamente - reutilizadas, ou recicladas - dependendo do estado dos resíduos têxteis. A reciclagem e reutilização desses resíduos estão aumentando em todo o mundo devido à escassez de recursos naturais e ao aumento dos custos de descarte de resíduos. Algumas tecnologias de reciclagem estão disponíveis comercialmente. As vantagens do uso de fibras recicladas incluem geralmente menor custo de matéria-prima e a redução do descarte de resíduos em aterros sanitários. Diferentes combinações de incineração, reciclagem de materiais e tratamento biológico de resíduos biodegradáveis ou aterro sanitário devem ser feitas com base no estudo

de diferentes opções de tratamento de resíduos têxteis em uma análise de sistemas.

Neste contexto, diversas iniciativas em todo o mundo estão caminhando no sentido da reutilização e reciclagem de têxteis, em sintonia com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU [64], como mostrado na Figura 25.



Figura 25 – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, da ONU.
(Fonte: [64])

Segundo a Organização das Nações Unidas, desenvolvimento sustentável é definido como “aquele que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades” [65].

Ainda no contexto da sustentabilidade, já está bastante difundido o significado dos “3R’s”: reduzir, reutilizar e reciclar. No entanto, novas propostas estão indo além destes “3R’s” como, por exemplo, os “8R’s” da moda sustentável, resumidos na Figura 26 elaborada a partir de SECOVIRIO [66].

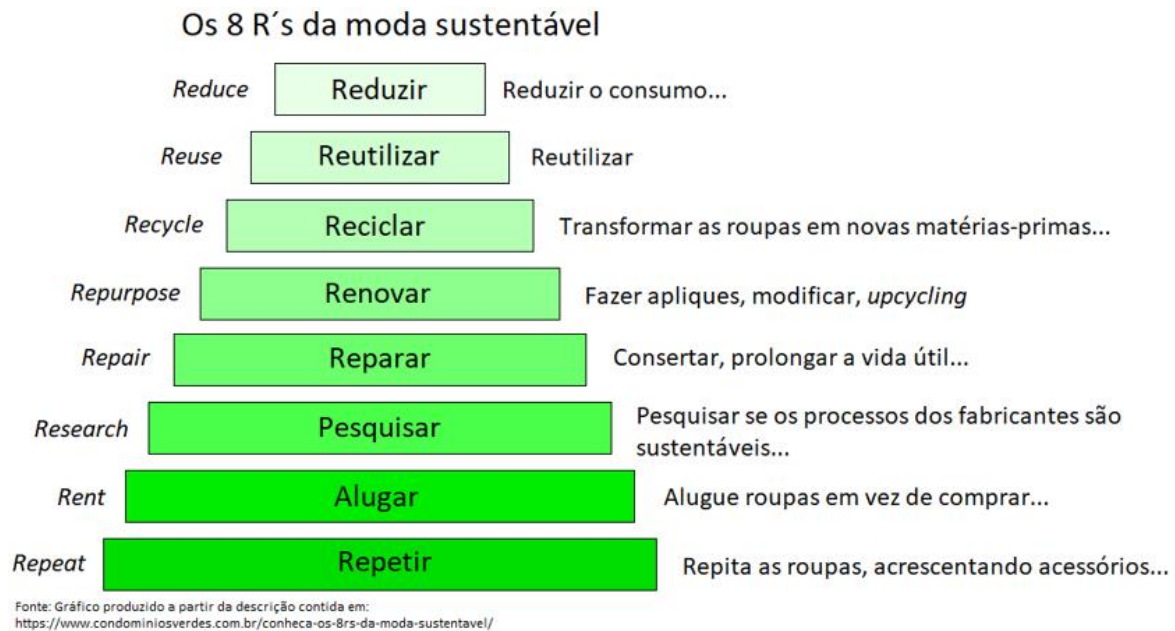


Figura 26 – Os 8 R's da moda sustentável.
 (Fonte: Elaborada a partir de [66])

Caminhando no sentido de uma produção mais sustentável, algumas iniciativas inovadoras e de boas práticas de reutilização e reciclagem demonstram que é possível reduzir os impactos ambientais das cadeias têxtil e de moda, adequando-as aos ODS, enquanto mantém ou até aumentam os lucros e criam novas oportunidades:

- A Roupateca [67] é um guarda-roupa compartilhado, onde o usuário assina um dos planos mensais e escolhe novas peças a cada 15 dias;
- Uma empreendedora de São Paulo (Brasil) criou um “banco de tecidos” e negocia com tecidos que todo mundo joga fora, por meio de um modelo de negócios inovador que faz com que o resíduo de um seja a matéria-prima de outro;
- Também em São Paulo chegou ao mercado o jeans de algodão colorido que gasta menos água na fabricação: o algodão naturalmente colorido BRS Rubi, desenvolvido pela Embrapa, será matéria-prima para a confecção do denim, tecido usado na produção de jeans. Pelo fato de não necessitar do processo de tingimento, este novo jeans usa menos água em sua fabricação, se comparado ao tradicional índigo blue [68].

Em sintonia com estas experiências, a CEO Global Fashion Agenda 2020 [69] enumera oito prioridades de sustentabilidade para a indústria da moda:

1. Prioridades principais de implementação imediata:
 - Rastreabilidade da cadeia de fornecimento;

- Reversão das mudanças climáticas: medidas de implementação que reduzam as emissões de gases de efeito estufa, promovam a energia renovável e protejam a biodiversidade;
 - Uso eficiente de água, energia e produtos químicos;
 - Ambientes de trabalho respeitosos e seguros: apoiar normas para o respeito dos direitos humanos universais para todas as pessoas empregadas ao longo da cadeia de valor.
2. Prioridades transformacionais para mudanças fundamentais:
- Mix de materiais sustentáveis: reduzir os efeitos negativos das fibras existentes e desenvolvimento de novas fibras inovadoras e mais sustentáveis;
 - Sistema de moda circular: projetar, produzir, vender e recolher produtos que permitam a reutilização e reciclagem de têxteis pós-consumidor, em escala;
 - Promoção de melhores sistemas de salários: colabore com as partes interessadas da indústria para explorar oportunidades para desenvolver e implementar melhores sistemas de salários;
 - Quarta revolução industrial: abraçar as oportunidades na digitalização da cadeia de valor e o comprometimento com outras marcas, fabricantes e governos de preparar a transição da força de trabalho.

Observa-se que, dentre estas prioridades está o incentivo ao sistema de moda circular, que inclui ações que permitam a reutilização e reciclagem de têxteis pós-consumidor. A proposta desta Tese, portanto, está de acordo com esta prioridade, uma vez que propõe uma nova utilização para resíduos têxteis, aplicando-os em sistemas de irrigação de baixo custo.

Neste cenário, a aplicação de resíduos têxteis para o desenvolvimento de sistemas de irrigação de baixo custo, que podem ser utilizados no semiárido, região com graves problemas económicos, sociais e ambientais, está sintonizada com a maioria dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU [64]:

- Com a possibilidade de contribuir para o aumento e melhoria da produção de alimentos para consumo da própria família, a presente proposta estará contribuindo com os ODS 1 (erradicação da pobreza), 2 (fome zero), 3 (boa saúde e bem-estar), 12 (consumo e produção responsáveis) e 15 (vida sobre a terra);
- Ao contribuir para a redução do desperdício e utilização racional da pouca água disponível para os agricultores familiares, estará contribuindo diretamente com o

ODS 6 (água limpa e saneamento) e, indiretamente, com os ODS 1 (erradicação da pobreza), 2 (fome zero) e 3 (boa saúde e bem-estar);

- Ao possibilitar maior produção e, conseqüentemente, a venda do excedente, estará contribuindo com os ODS 8 (emprego digno e crescimento económico), 10 (redução das desigualdades), 11 (cidades e comunidades sustentáveis) e 12 (consumo e produção responsáveis);
- Ao possibilitar que as mulheres possam trabalhar dignamente na sua propriedade, gerando renda e melhorando a qualidade de vida da família, estará contribuindo com os ODS 5 (igualdade de género), 8 (emprego digno e crescimento económico) e 16 (paz, justiça e instituições fortes);
- Ao economizar energia convencional na irrigação, estará contribuindo para o ODS 7 (energia acessível e limpa);
- Ao aprenderem a construir seus próprios sistemas de irrigação e ensinarem às outras famílias, proporcionando-lhes maior autonomia, a presente proposta estará contribuindo para o ODS 4 (educação de qualidade).

Portanto, considerando a pressão dos consumidores e da sociedade em geral por produtos têxteis mais sustentáveis, o reuso e reciclagem tenderá a expandir-se em toda a cadeia têxtil, que será forçada a aperfeiçoar a recolha e distribuição dos resíduos, o que irá beneficiar, por exemplo, as cooperativas de catadores de material reciclado, facilitando o acesso aos resíduos para a confecção dos dispositivos propostos nesta Tese.

Esforços de investigação no sentido do desenvolvimento de novas aplicações para os resíduos têxteis, como o realizado neste estudo, poderão levar a novos produtos e processos que venham a beneficiar a população de baixa renda que necessita de incorporação de avanços científicos e tecnológicos às atividades do seu dia-a-dia, notadamente as relacionadas com a produção básica de alimentos.

No Capítulo 3 iremos apresentar um levantamento da literatura pertinente ao transporte de líquidos em têxteis e os fenômenos relacionados. Conhecendo-se características técnicas dos retalhos de têxteis recolhidos nas confecções, é possível projetar dispositivos que tenham melhor eficácia no transporte de líquido e que funcionem, de fato, na irrigação por capilaridade.

Capítulo 3

3 Breve revisão sobre transporte de líquidos em têxteis

3.1 Introdução

Neste capítulo é feito um levantamento da literatura pertinente sobre o transporte de líquidos em têxteis e os fenômenos relacionados, como a tensão superficial, molhagem, curvatura e rugosidade da superfície e ângulo de contato. Em seguida, é apresentado o efeito da estrutura dos tecidos na capilaridade e os testes e metodologias experimentais para o estudo da capilaridade em têxteis.

Todos estes temas são importantes para fundamentar cientificamente a aplicação de têxteis na irrigação, cujo desempenho depende fundamentalmente da capilaridade dos tecidos utilizados. Assim, ao se conhecer as características do transporte de líquidos neste resíduo, pode-se projetar os dispositivos de forma a otimizar o processo de irrigação.

Um líquido é um estado da matéria em que as moléculas se atraem. Quando a atração é mais forte do que a agitação térmica, as moléculas passam de uma fase gasosa para uma fase mais densa, ainda que desordenada – o que é designada por um líquido. Uma molécula no interior de um líquido beneficia de interações com toda a vizinhança. Por outro lado, uma molécula na superfície perde metade das interações coesivas (Figura 27). Esta é a razão fundamental pela qual os líquidos ajustam a sua forma, de maneira a expor a menor área superficial possível [70].

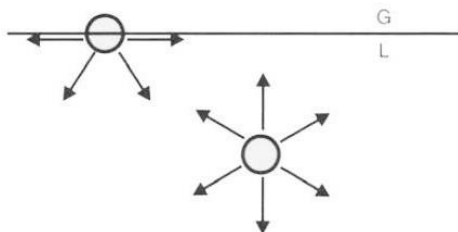


Figura 27 – Moléculas no interior e na superfície (interface gás-líquido).
(Fonte: [70])

A tensão superficial, a molhagem e a capilaridade estão entre os fenômenos mais frequentemente observados no processamento e utilização de materiais fibrosos, como os

tecidos, quando a água ou qualquer outro produto químico líquido entra em contato com estes e é transportado através das estruturas fibrosas [71].

As bases físicas da tensão superficial, molhagem e capilaridade são interações moleculares dentro de um sólido ou líquido, ou em toda a interface entre um líquido e um sólido. A molhagem e a capilaridade são determinadas por tensões superficiais (de sólidos e líquidos) e tensões interfaciais líquido/sólido. As curvaturas e rugosidades da superfície de contato são fatores críticos para os fenômenos de molhagem, especialmente no caso de materiais fibrosos [71]–[73], como será discutido detalhadamente nos próximos subitens.

3.2 Tensão superficial

A tensão superficial é um efeito que ocorre na camada superficial de um líquido que leva a sua superfície a se comportar como uma membrana elástica. As moléculas situadas no interior de um líquido são atraídas em todas as direções pelas moléculas vizinhas e, por isso, a resultante das forças que atuam sobre cada molécula é praticamente nula. As moléculas da superfície do líquido, entretanto, sofrem apenas atração lateral e inferior. Esta força para o lado e para baixo cria a tensão na superfície, que faz a mesma comportar-se como uma película elástica [74], [75]. A tensão superficial também é responsável pelo efeito de capilaridade, formação de gotas e bolhas, e imiscibilidade entre líquidos polares e apolares.

A tensão superficial é definida pela razão entre magnitude da força F (em Newton) exercida paralelamente à superfície de um líquido e o comprimento L (em metros) da linha ao longo da qual a força atua [74], conforme apresentado na Equação 1.

$$\sigma = \frac{F}{L} \left[\frac{N}{m} \right] \quad (1)$$

A Tabela 4 compara valores de tensão superficial de alguns líquidos.

Tabela 4 – Tensão superficial de alguns líquidos.

Líquido	Temperatura (°C)	Tensão superficial (N/m)
Água	20	0.073
	100	0.059
Glicerina	20	0.063
Sangue	37	0.058

(Fonte: [76])

3.3 Molhagem

A molhagem de uma superfície sólida é entendida como a condição resultante do contato com um líquido, sob condições específicas. A molhabilidade descreve o potencial de uma superfície para interagir com líquidos com características específicas. A molhabilidade é o fenômeno inicial quando um substrato é posto em contato com um líquido, e também descreve a interação entre o líquido e o substrato, antes do processo de permeabilidade [77].

A molhagem de têxteis envolve diversas fases: imersão, absorção capilar, adesão e espalhamento. Durante a imersão ou absorção capilar, uma interface sólido-vapor desaparece e uma interface sólido-líquido aparece. A adesão é a atração entre as superfícies do substrato e do líquido, em contacto. O espalhamento é o escoamento do líquido sobre um sólido [77]. A Figura 28 ilustra os três estados de “molhado”, de acordo com a equação de Young, como apresentado em [78]: de “parcialmente molhado” para “completamente molhado” ou “completamente seco”.

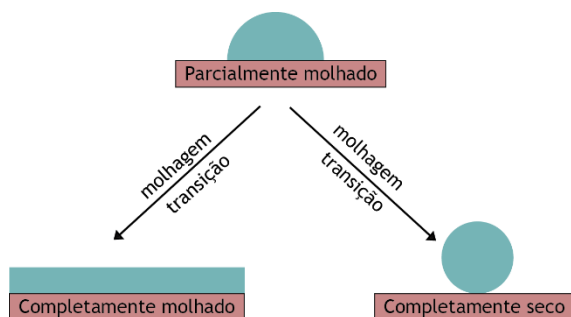


Figura 28 – Os três estados possíveis de "molhado", segundo a equação de Young. (Fonte: [78])

A molhabilidade descreve a preferência de um sólido para estar em contato com um fluido ao invés de outro. Embora o termo “preferência” pareça estranho quando se descreve um objeto inanimado, ele descreve o balanço de forças superficiais na interface. Uma gota de fluido preferencialmente molhável irá deslocar outro fluido; no limite, irá espalhar-se completamente pela superfície. Pelo contrário, se um fluido não-molhável é largado numa superfície já coberta pelo fluido molhável, forma uma esfera, minimizando o seu contato com o sólido. Assim, a molhagem é uma etapa que antecede a capilaridade. Após o processo de molhagem inicial, o escoamento do líquido tende a espalhar-se pelo substrato têxtil [79].

Os estudos de molhabilidade geralmente envolvem a medição do ângulo de contato, que indica a grau de molhagem quando um sólido – de superfície sólida, homogênea e suave - e um líquido interagem (Figura 29). Os ângulos de contato pequenos, menores que 90° , correspondem a elevada molhabilidade, enquanto ângulos de contato elevados, maiores que 90° , correspondem a baixa molhabilidade [80].

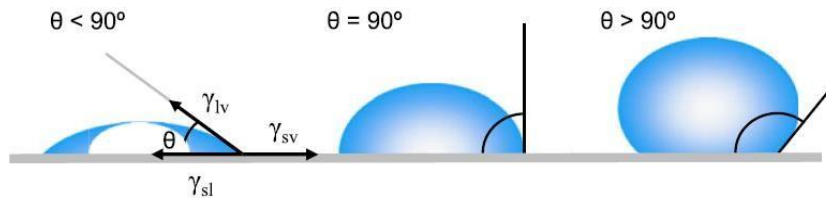


Figura 29 – Ângulos de contato formados por gotas de líquido numa superfície.
(Fonte: [80])

A equação de Young (2) fornece a relação entre o ângulo de contato em equilíbrio, θ_{eq} , que a gota faz com a superfície e as três tensões superficiais:

$$\gamma_{LV} \cos \theta_{eq} = \gamma_{SV} - \gamma_{SL} \quad (2)$$

Onde: γ_{SL} é a tensão superficial sólido – líquido;

γ_{SV} é a tensão superficial sólido – vapor;

γ_{LV} é a tensão superficial líquido – vapor.

A equação de Young pode também ser interpretada como um balanço de forças na linha de contato das três fases; a tensão superficial é dada em energia por unidade de área, equivalente a uma força por unidade de comprimento, atuando na linha de contato (Figura 30).

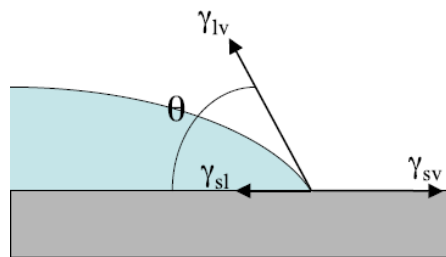


Figura 30 – Balanço de forças de contato de uma gota com a superfície.
(Fonte: [78])

3.3.1 Curvatura e rugosidade da superfície e histerese do ângulo de contacto

A curvatura e a rugosidade da superfície de contato são dois fatores críticos para o fenômeno de molhagem, especialmente no caso de molhagem em materiais fibrosos, que são meios porosos de estrutura intrincada, tortuosa e rugosa. Um líquido que molha completamente um material na forma de uma superfície plana, não rugosa, poderá não molhar o mesmo material quando apresentado como uma fibra de superfície rugosa [71]–[73]. Para analisar detalhes microscópicos da molhagem líquida de meio fibroso, várias técnicas de simulação

computacionais têm sido aplicadas, para incluir maior complexidade e, assim, investigar sistemas mais realísticos e melhor entender e explicar os resultados experimentais [71].

O valor do ângulo de contato depende do avanço de um líquido sobre uma superfície sólida ou do retrocesso do mesmo sobre uma superfície molhada, na maioria dos casos este valor é maior quando o líquido avança do que quando retrocede. Este fenômeno é chamado de histerese do ângulo de contato geralmente é atribuído à heterogeneidade de composição e à rugosidade da superfície [72]. A superfície rugosa é a mais importante fonte de histerese de ângulo de contato. Em geral, a histerese do ângulo de contato aumenta constantemente com a microrugosidade da superfície sólida [71]–[73].

3.4 Permeabilidade

A permeabilidade é uma medida quantitativa da capacidade de um meio poroso escoar fluido e é considerada uma das mais importantes propriedades físicas desses meios. A permeabilidade relaciona-se com o tamanho dos poros e sua distribuição, nomeadamente, a distribuição dos tamanhos das entradas, saídas e comprimentos das paredes dos poros, que constituem as maiores resistências ao escoamento [81]. Em outras palavras, a permeabilidade indica a relativa facilidade com que um fluido passa através do espaço do poro, em um meio poroso fibroso.

Vários tipos de regimes de fluxo podem ser observados, dependendo das propriedades do fluido, da estrutura porosa e das velocidades de fluxo. O número de Reynolds (Re) é o parâmetro que tem sido utilizado para diferenciar os vários tipos de fluxo [82]–[85]. O número de Reynolds nos poros é definido pela equação 3.

$$Re = \frac{\rho_l \cdot d_h \cdot v_p}{\mu} \quad (3)$$

Onde: ρ_l é a densidade do fluido (kg/m^3);

d_h é o tamanho dos poros, isto é, o seu diâmetro hidráulico (m);

μ é a viscosidade dinâmica do fluido ($\text{kg}/\text{m}\cdot\text{s}$);

v_p é a velocidade do fluxo nos poros (m/s).

3.4.1 Regime de fluxos

Em [86] os autores estudaram o fluxo de líquidos em meios porosos constituídos por esferas de plexiglas ou bastões dispostos em um arranjo regular. Em seu estudo, eles identificaram a existência de quatro regimes de fluxo em meios porosos, cujos limites estão apresentados

na Tabela 5. Os limites destes regimes são definidos pelo Número de Reynolds com base no tamanho médio dos poros e velocidade média nos poros [82], [85], [86].

Tabela 5 – Regimes de fluxos em meios porosos.

Número de Reynolds (Re)	Características
$Re < 1$	Regime de fluxo de Darcy, onde o fluxo é dominado por forças viscosas e a natureza exata do fluxo é determinada pela geometria local. Neste tipo de fluxo, a Lei de Darcy (1856) pode ser aplicada.
$1 < Re < 10$ até $Re < 200$	Regime de fluxo de inércia, que se inicia na faixa de Re entre 1 e 10, em que as forças de inércia aparecem. Elas são devidas, em parte, às mudanças contínuas de direção do fluido, que está a avançar através de um caminho tortuoso dentro do meio poroso. O desenvolvimento destas forças de inércia provoca uma relação não linear entre a queda de pressão e o fluxo. Este regime de escoamento não linear constante persiste até $Re = 200$. Várias expressões têm sido propostas para relacionar a velocidade de fluxo para o gradiente de pressão, nesta faixa.
$200 < Re < 350$	Regime de fluxo laminar instável na faixa de $200 < Re < 350$, que é caracterizado por oscilações laminares na subfaixa de $200 < Re < 300$, seguido pela formação de vórtices na subfaixa de $300 < Re < 350$.
$Re > 350$	Regime altamente instável e caótico para $Re > 350$, que qualitativamente se assemelha a fluxos turbulentos.

(Fonte: [85], com base nos estudos de [82], [86])

3.4.2 Permeabilidade no plano

A permeabilidade indica a facilidade relativa com que o fluido se movimenta através do espaço do poro, em um meio poroso de fibras. No caso específico da utilização de resíduos têxteis para a fabricação de mantas e fitas permeáveis, para irrigação, deseja-se que o movimento da água neste meio se dê preferencialmente na direção do plano das camadas de tecidos. Assim, é importante conhecer as características de permeabilidade no plano.

Como referido por Salvado [85], a Lei de Darcy é geralmente a equação relevante para o estudo da permeabilidade, quando um fluido flui de forma lenta e constante, através de pequenos poros e que é o caso em estudo, da irrigação com têxteis. Esta lei afirma que a taxa de volume de fluxo por unidade de área, isto é, a velocidade superficial v (m/s), através do meio poroso está linearmente relacionado com o negativo do gradiente de pressão na direção do fluxo. Estas relações podem ser ajustadas por meio de observações experimentais [85]. A equação 4 apresenta a Lei de Darcy.

$$V_y = -\frac{\beta}{\mu} \cdot (\text{Gradiente } P)_y = \frac{\beta}{\mu} \cdot \frac{\Delta P}{h} \quad (4)$$

Onde: V_y é a velocidade superficial (m/s);

β é o coeficiente de permeabilidade (m^2);

μ é a viscosidade dinâmica do fluido (Pa.s);

h é o comprimento considerado na direção y (m);

ΔP é a queda de pressão no comprimento h (Pa).

A unidade de permeabilidade é o Darcy, que corresponde à permeabilidade de um sólido através do qual um centímetro cúbico de fluido, com viscosidade de um centipoise, escoará, em um segundo, através de uma secção com a espessura de um centímetro e com um centímetro quadrado de secção transversal. Isto permanece verdadeiro apenas se a diferença de pressão entre os dois lados do meio for uma atmosfera. Acontece que a permeabilidade possui unidade de área; como não existe unidade de permeabilidade do Sistema Internacional, são utilizados metros quadrados. Um Darcy é igual a cerca de $0.98692 \times 10^{-12} m^2$ [81].

3.4.3 Saturação

Uma vez que a permeabilidade é dependente do conteúdo fluido que é mantido nos poros, não é possível quantificá-la sem ter conhecimento do nível de saturação no meio. O termo saturação é utilizado para definir o conteúdo líquido de um meio poroso. Em relação a um tecido, a saturação é definida com a fracção de espaços vazios que é preenchida com um líquido. Numa saturação zero, não existe presença de líquido no tecido, enquanto numa saturação a 100%, todos os espaços vazios do tecido estão preenchidos [81].

Por definição, um tecido pode teoricamente estar com uma saturação 100%, contudo, isto não descreve com precisão quanto de humidade realmente preenche os vazios nos espaços intrafios. Isto acontece porque nem todo o líquido num tecido completamente saturado é necessariamente envolvido no escoamento capilar, que é definido como “uma propriedade exibida quando os líquidos penetram espontaneamente em passagens estreitas, como em tubos de pequeno diâmetro e materiais porosos. O exemplo clássico de um capilar (passagem estreita) é um tubo de pequeno diâmetro interno” ou a subida de um líquido por um tecido (material poroso) [33], [87].

A definição de saturação não diferencia entre “líquido capilar” e “líquido não-capilar” [88]. Assim, uma medida da saturação necessita ser introduzida. Quando se obtém o nível de saturação num tecido, é a fracção de fluido de enchimento que define mais precisamente o nível de humidade no meio. A fracção de fluido de enchimento f pode ser determinada pelo uso da equação 5:

$$f = \frac{V_{fluid}}{V_{total}} \quad (5)$$

Onde: V_{fluid} é o volume de líquido presente no tecido (cm³);

V_{total} é o volume total do tecido percorrido pelo fluido (cm³).

O volume de líquido pode ser calculado pela equação 6:

$$V_{fluid} = \frac{(M_w - M_d)}{\rho} \quad (6)$$

Onde: M_w é a massa de tecido molhado (g);

M_d é a massa de tecido seco (g);

ρ é a densidade ou massa específica do fluido (ex: água = 1 g/cm³).

O V_{total} pode ser calculado sabendo-se o comprimento, largura e espessura do provete de tecido. O valor calculado da fração de fluido de enchimento é uma medida da saturação e pode ser utilizado para quantificar as características de capilaridade dos tecidos testados [81].

3.5 Capilaridade

A ação capilar, ou capilaridade, pode ser definida como um movimento macroscópico ou escoamento de um líquido sob a influência da sua própria tensão superficial e forças interfaciais [81]. As forças impulsionadoras primárias responsáveis pelo movimento da humidade ao longo do tecido são as forças de capilaridade. A capilaridade descreve o fenómeno no qual líquidos em tubos estreitos, fendas e vazios iniciam o movimento causado pela tensão superficial do líquido [89]. A capilaridade é baseada nas forças intermoleculares de coesão e adesão. O ângulo de contato e altura atingida pelo líquido (se ele sobe ou desce) dependerão das forças coesivas (entre as moléculas do líquido) e das forças adesivas (entre as moléculas do líquido e as do tubo).

Se as forças de adesão entre o líquido e a parede do tubo são maiores do que as forças de coesão entre as moléculas do líquido, então ocorre o movimento capilar. Quando da ocorrência da capilaridade em um tubo capilar, acontece a formação de um menisco côncavo. Se o líquido não molha a parede, há uma depressão do líquido, formando-se um ângulo convexo [90], conforme mostrado na Figura 31.

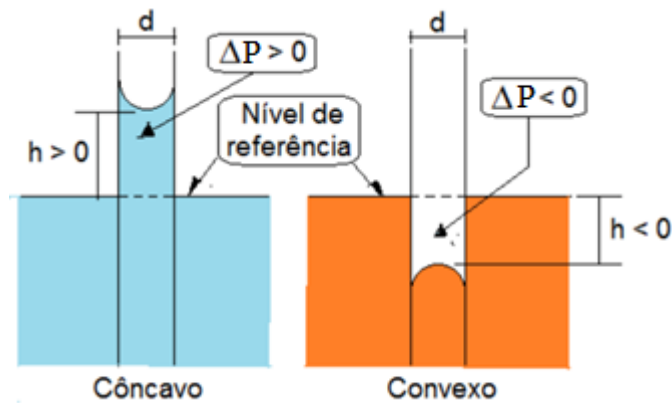


Figura 31 – Capilaridade em tubo circular.
(Fonte:[91])

A capilaridade acontece quando a afinidade do líquido pela superfície é grande o suficiente para vencer a o seu próprio peso. A porosidade do material é diretamente proporcional à relação superfície de contato/volume [74]. O escoamento capilar é similar a outros tipos de escoamentos hidráulicos causados por diferença de pressão entre duas regiões hidraulicamente conectadas da massa líquida [92]. O escoamento ocorre na direção da diminuição da diferença de pressão e cessará quando a diferença de pressão se tornar zero [81].

De acordo com as leis da capilaridade, o escoamento do líquido será mais rápido num capilar com um grande raio, do que num capilar com um pequeno raio [81], embora o capilar de menor raio transporte humidade para uma altura superior.

Um tecido têxtil é comumente classificado como um meio constituído por muitos capilares. Por simplicidade, assume-se que os capilares formados a partir das fibras nos fios têm forma cilíndrica [93], mas é sabido que os canais formados pelos espaços intra e interfios não são cilíndricos e, mais frequentemente, nem sequer são fechados, tanto dos lados quanto no fim. Eles podem, contudo, ser considerados análogos a uma rede de tubos. Imaginando-se um tecido como sendo um feixe de capilares, como ilustrado na Figura 32 , a pressão capilar desse meio será dependente da quantidade de fluido mantido dentro dos feixes [81].

Nesta tese, foi utilizada a definição de Simile [81], na qual o *wicking* significa “fluxo espontâneo de líquido” devido à capilaridade.

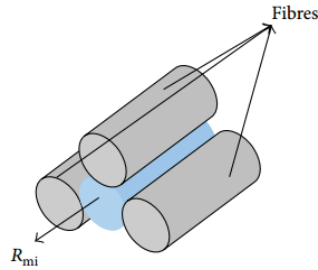


Figura 32 – Ilustração do escoamento capilar nos poros de um tecido.
(Fonte:[94])

Em geral, o transporte espontâneo ocorre quando um líquido se desloca ao longo da superfície da fibra, mas não é absorvido pela fibra. Fisicamente, como descrito, é o escoamento espontâneo de um líquido num substrato poroso, causado por ação da capilaridade e governado pelas propriedades do líquido, interações do meio com o líquido e configurações geométricas da estrutura do poro no meio [95].

As propriedades do líquido, tais como a tensão superficial, viscosidade e densidade, bem como as forças de molhagem superficial das fibras são conhecidas ou podem ser experimentalmente determinadas, mas a estrutura do poro de um meio fibroso é complicada e muito mais difícil de quantificar [93]. A complexidade da estrutura de um tecido torna impossível medir uma estrutura de poro exata [85]. Para além disso, o movimento e interação de um líquido através dos poros pode causar deslocamento das fibras e mudanças na estrutura do poro [95].

Em um capilar vertical, a pressão capilar (P_c) irá empurrar o líquido e a pressão hidrostática (P_h) irá segurá-lo, como mostrado na Figura 33.

A diferença de pressão ΔP é dada pela equação 7:

$$\Delta P = P_c - P_h \quad (7)$$

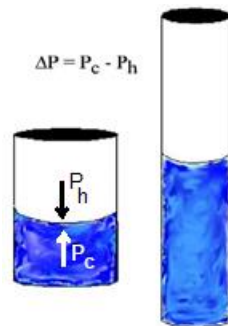


Figura 33 – Ilustração da subida capilar em poros de diferentes tamanhos.
(Fonte:[81])

Para um tubo circular de raio (R), a pressão capilar é dada pela Lei da Laplace, segundo a equação 8:

$$P_c = \frac{2\gamma\cos\theta}{R} \quad (8)$$

Onde: P_c é a pressão capilar (Pa);
 γ é a tensão superficial do líquido (N/m);
 θ é o ângulo de contato do líquido com o substrato;
 R é o raio capilar efetivo (m).

Por outro lado, a pressão hidrostática é dada pelo peso da coluna de líquido, segundo a equação 9:

$$P_h = \rho_l \cdot g \cdot h \quad (9)$$

Onde: P_h é a pressão hidrostática (Pa);
 ρ_l é a densidade do líquido (kg/m³);
 g é a aceleração gravítica (m/s²);
 h é a altura da coluna de líquido (m).

A altura máxima de subida do líquido ocorre quando a diferença de pressão é nula, ou seja, quando $\Delta P = 0$ (equação 10):

$$h_{max} = \frac{2 \cdot \gamma^l \cdot \cos\theta}{r \cdot \rho_l \cdot g} \quad (10)$$

Combinando-se a Lei de Laplace com a equação da pressão hidrostática e inserindo-as na Lei de Darcy, obtém-se a equação 11, que descreve a velocidade de ascensão do líquido:

$$v = \frac{dh}{dt} = \frac{B}{\gamma} \cdot \left(\frac{2 \cdot \gamma^l \cdot \cos\theta}{r \cdot \rho_l \cdot g \cdot h} \right) \quad (11)$$

Em um caso particular desta equação, para um tubo circular, a permeabilidade é dada pela Lei de Poiseuille, onde $B = r^2/8$. Neste caso, a resultante é conhecida como Equação de Lucas-Washburn [85].

Os capilares que constituem o espaço limite do escoamento num fio e entre fios são compostos de uma distribuição de diferentes raios de poros. Devido aos mecanismos de

capilaridade, a frente húmida move-se de poros maiores para poros menores à medida que a altura aumenta. Isto poderá indicar que a humidade escoar de uma região com baixa pressão capilar para uma região de elevada pressão capilar [81].

A capilaridade em tecidos pode ocorrer numa grande variedade de condições e situações, existindo dois fenómenos relacionados com o transporte de líquidos em tecidos, a molhabilidade e o transporte espontâneo [96]. Para Harnet & Mehta [97], o transporte está relacionado com a capacidade de manter o escoamento do líquido, enquanto que a molhabilidade descreve o comportamento inicial de um tecido, fio ou fibra quando é posto em contato com água.

Em suma, na ausência de forças externas, o transporte de líquidos em meio poroso é dirigido por forças capilares que surgem a partir da molhagem da superfície do tecido. Uma vez que as forças capilares são causadas pela molhagem, o transporte de líquido é o resultado de uma molhagem espontânea em um sistema capilar. Consequentemente, eles estão acoplados e um não pode ocorrer na ausência do outro [62], [77].

3.5.1 Efeito da estrutura dos tecidos

Nesta tese, os resíduos têxteis utilizados foram de tecidos e de malhas. Então, é importante conhecer o desempenho destes dois tipos no transporte de água, para a aplicação de irrigação subterrânea por capilaridade. Com isso, será possível definir as características dos pedaços de resíduos para cada um dos dispositivos desenvolvidos.

Um material têxtil de malha de trama é construído com um fio ou um conjunto de fios movendo-se numa única direção. Ao invés de dois conjuntos de fios entrecruzando-se, como na tecelagem, o fio de malha é enrolado em si mesmo para fazer uma carreira de laçadas. Devido à sua construção, uma malha não é uma estrutura sólida completa, possuindo forma complexa e muito porosa. O contorno complexo formado pelas fibras no fio, e os fios na estrutura têxtil, constituem os limites dos canais ao longo dos quais a humidade escoar [81].

O mecanismo mais importante da capilaridade em materiais têxteis é o movimento de líquido em espaços vazios entre as fibras num fio, e intrafios. Devido às leis da capilaridade, os poros maiores entre fios não contribuem muito para o movimento de longo alcance do líquido. No entanto as intersecções de fios actuam como reservatórios que alimentam os capilares. Esta observação tornar-se-á importante quando diferentes tipos de estruturas de malhas forem analisadas e comparadas [81].

Em qualquer sistema onde a capilaridade causa movimento relativo entre um líquido e um sólido, a forma das superfícies sólidas é um fator importante que governa a velocidade e a direção do escoamento líquido. A velocidade a que a água líquida se desloca é governada pela estrutura dos fios e pelo arranjo das fibras nos fios, que controlam o tamanho do capilar e a continuidade.

O tipo de fibra também contribui para o escoamento capilar [93]. O tipo de fibra, sob determinadas circunstâncias, pode alterar drasticamente a estrutura do fio e as propriedades de capilaridade do tecido e da malha. Por exemplo, alterações nas propriedades da fibra, quando húmida, podem alterar significativamente os comportamentos de movimento e retenção de líquido, nomeadamente através da dilatação da fibra molhada. A dilatação da fibra não aumenta apenas a retenção de líquido nas fibras, pela difusão do líquido no interior da fibra, mas também altera a estrutura do poro. Esta alteração resultante da dilatação das fibras pode causar estrangulamentos ou o fecho dos capilares o que, por outro lado, causa redução ou mesmo a paragem do escoamento nesses capilares [81], [93].

O fenómeno de recuperação da humidade é frequentemente referido pela designação inglesa *regain*, que é definida como o valor obtido “quando a humidade presente nas fibras do material têxtil é calculada como uma percentagem sobre a massa seca deste material, após secagem em forno. Por exemplo, “se 100 partes em massa deste material contêm 20 partes em massa de água, o teor de umidade é de 20% e o *regain* é de $100 \times 20/80$, ou 25%” [98].

O *regain* é, geralmente, função da estrutura física e da composição química da fibra. O inchaço das fibras decorrente da difusão de humidade alteram as suas propriedades, tais como suas dimensões, formato, rigidez e permeabilidade [93]. A Figura 34 compara a capacidade de absorção de humidade de diferentes fibras naturais e sintéticas.

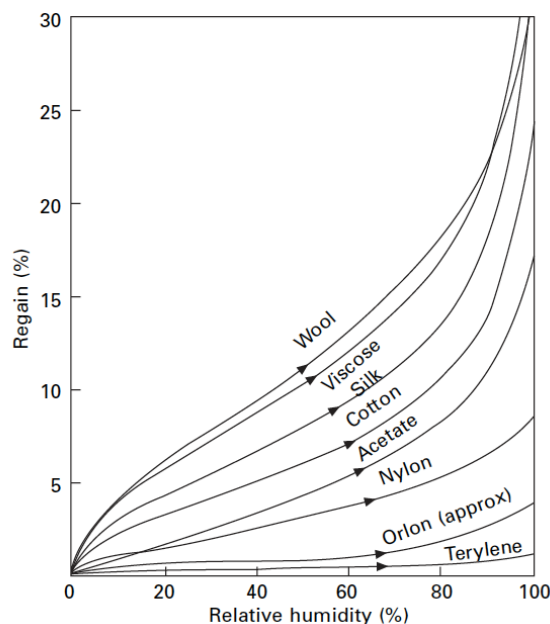


Figura 34 – Comparativo de recuperação de umidade em diferentes fibras.
(Fonte: [93])

A morfologia das fibras também influencia a molhabilidade do material têxtil. Os fios fiados com fibras naturais possuem capilares muito irregulares devido a vários fatores, tais como rugosidade da fibra, forma da secção transversal e comprimento irregulares. Fibras de algodão, com sua secção transversal em “forma de feijão”, plana e aparência tipo cordão, produzem capilares muito irregulares, dentro de um fio, que poderão inibir a passagem do fluido. A seda possui um formato de vara, com dilatação ocasional ou irregularidades ao longo da sua superfície, e uma secção transversal triangular. Embora esta seja uma das fibras naturais com forma mais regular, continua a não produzir fios tão regulares como os produzidos a partir de fibras não naturais [93].

Fibras sintéticas convencionais como o poliéster e a poliamida circulares, que são suaves na aparência e têm secções transversais perfeitamente circulares, permitem construir um fio com capilares mais regulares [81]. As fibras sintéticas podem ser manufaturadas com diversas formas de secção transversal alterada e os comprimentos das fibras podem ser controlados.

Existem fibras não circulares que aumentam a capacidade de capilaridade, como por exemplo a Coolmax™, da Dupont™, que é uma fibra de poliéster com grandes áreas de superfície. Esta característica da fibra ajuda a espalhar a umidade em todo o tecido para aumentar a taxa de secagem evaporativa. A secção transversal da fibra Coolmax™ não é circular, mas ligeiramente oval com ranhuras longitudinalmente. Desta forma, a secção transversal da fibra consiste em uma série de canais estreitamente espaçados (tetra ou hexa-canais) que auxiliam na ação capilar [99].

A estrutura do tecido ou material é amplamente responsável pelo escoamento da humidade, mas o tipo de fibra não deve ser menosprezado, pois pode ser selecionado para causar um desempenho elevado e singular [81], [93]. De uma forma geral nos tecidos compostos de fibras convencionais, os requisitos para uma boa capilaridade, incluem fibras rígidas, uniformidade estrutural e resistência da estrutura ao colapso. Para além disso, as fibras não devem inchar pelo líquido ao ser arrastado por capilaridade.

Para uma melhor confirmação da influência da torção do fio no seu efeito capilar, Nyoni & Brook [100] efetuaram uma análise microscópica dos fios em microscópio de varrimento eletrónico, que mostrou que a maneira como os filamentos individuais se agrupam determina a quantidade de espaços vazios entre os filamentos e que o aumento no número de filamentos, a tensão e a torção dos fios tiveram um efeito significativo no desempenho de absorção dos fios: os fios com mais torção geralmente exibiram tendência de menor capilaridade, acontecendo um aumento repentino no desempenho de capilaridade em níveis de torção mais altos, devido ao efeito da espiral. No entanto, não houve efeito significativo da direção da torção no desempenho de absorção dos fios [100].

Com base na descrição de Silva [89], classificamos a capilaridade em 4 categorias, segundo o nível de interação do líquido com as fibras:

- Categoria 1, quando a penetração capilar é o único processo envolvido, sem difusão significativa nas fibras;
- Categoria 2, capilaridade acompanhada por difusão do líquido nas fibras. Neste caso, ocorrem dois processos simultâneos: penetração capilar e difusão do líquido para dentro das fibras;
- Categoria 3, capilaridade acompanhada por adsorção na superfície das fibras, com vários processos ocorrendo simultaneamente: penetração capilar, difusão do agente tensoativo no líquido e a adsorção do tensoativo nas fibras;
- Categoria 4, capilaridade envolvendo a adsorção e difusão em fibras, quando ocorrem simultaneamente os processos de penetração capilar, difusão do líquido para dentro das fibras, difusão do agente tensoativo no líquido e adsorção do surfactante sobre as fibras.

Entende-se por adsorção “a adesão de uma camada extremamente fina de moléculas (de gases, solutos ou líquidos) às superfícies de corpos sólidos ou líquidos com os quais eles estão em contato” [101]. Diferentemente da absorção, que é um fenómeno que envolve todo o volume do material, a adsorção é superficial.

3.6 Testes e metodologias experimentais para o estudo da capilaridade em têxteis

Em [97], os autores compararam diversos métodos de avaliação de capilaridade em tecidos, como os apresentados na Figura 35. Foram descritos os métodos de capilaridade vertical/tira (a); horizontal/prato (b); teste de ponto, com duas variantes, sendo a primeira com gota a gota e a segunda com sifão (c); e teste do sifão (d).

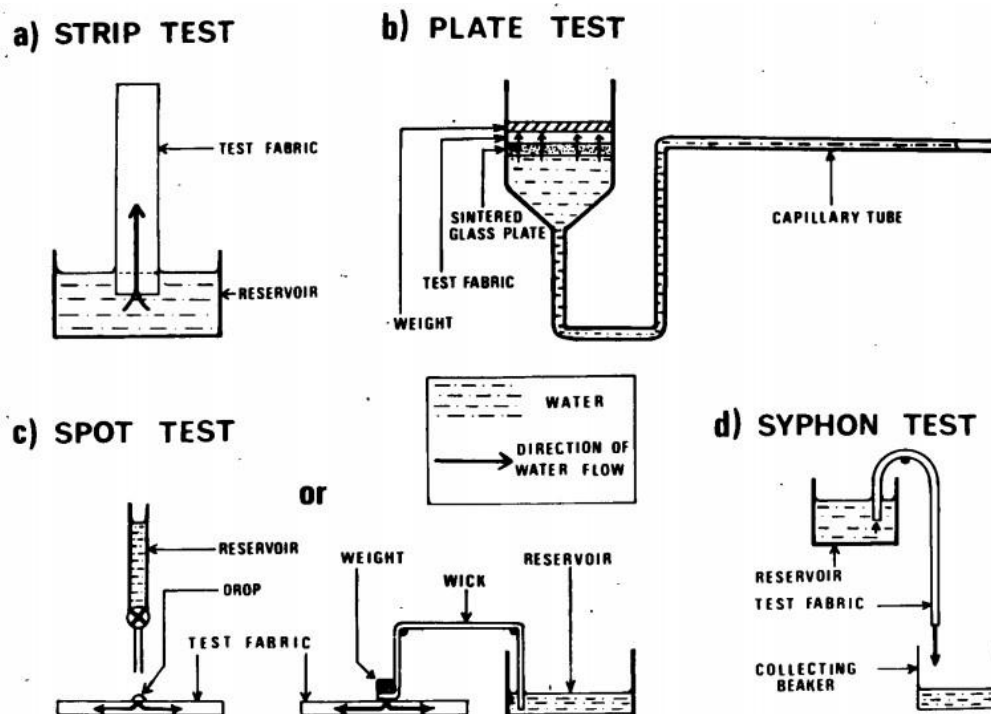


Figura 35 - Diversos métodos de avaliação de capilaridade em tecidos.
(Fonte: [97])

A penetração capilar de um líquido pode ocorrer de um reservatório infinito ou de um finito, limitado. No caso de um reservatório infinito, as diferentes formas de testar a capilaridade são a imersão, o transporte transplanar e o transporte longitudinal [81], vistos a seguir.

3.6.1 Imersão

O transporte de líquidos durante a imersão ocorre quando o tecido, ou estrutura fibrosa em geral, é completamente imerso em um líquido, que entra no tecido por todas as direções. O movimento de um líquido num fio ou tecido imersos desloca a maior parte do ar da estrutura fibrosa e faz com que este afunde.

3.6.2 Transporte transplanar

A permeabilidade transplanar ou transversal é o termo utilizado quando o transporte de um líquido se dá através da espessura do tecido, que é perpendicular ao plano do tecido. Diversas técnicas têm sido desenvolvidas para medir o transporte líquido transplanar em tecidos. Por exemplo, placas de teste medem a absorção de água em tecidos, especialmente toalhas. Alguns dispositivos foram descritos por [81], [102] e [103], embora não exista norma específica para este tipo de teste.

3.6.3 Transporte longitudinal

O transporte longitudinal de líquido desde um reservatório ocorre quando o tecido é parcialmente imerso em um grande volume de líquido que pode molhar o tecido. Se o líquido não molha a superfície, não irá penetrar por capilaridade na estrutura fibrosa. Muitos investigadores têm tentado utilizar estes tipos de testes para investigar a penetração capilar de um líquido num tecido. Diversos testes de transporte longitudinal são considerados para tentar definir a capacidade de um tecido transportar humidade e incluem a capilaridade vertical (ascendente), a capilaridade horizontal e a capilaridade descendente [81].

3.6.4 Testes de capilaridade vertical

Um método de teste padrão para este tipo de capilaridade é o BS 3424: Part 18, Method 21A [104], que inclui cortar o espécime de teste nas dimensões de 150 mm x 50 mm e desenhar uma linha indelével em toda a superfície do tecido a 50 mm da extremidade. O espécime é então pendurado numa haste de vidro, que está ligada horizontalmente a um suporte em anel, e baixada verticalmente para um reservatório. O tecido entra em contato com o fluido do reservatório, que então é permitido subir pelo tecido durante vinte e quatro horas, após as quais o comprimento do percurso do fluido é medido milimetricamente, tendo como referência a linha indelével marcada. Esta distância que o líquido percorre é o que é designado como extensão da capilaridade [81].

Utilizando a teoria de capilaridade e teste de capilaridade vertical, seria expectável que a humidade escoasse mais rápido num meio com poros de maior dimensão. Contudo, Miller [105] mostrou que este nem sempre é o caso. O estudo foi conduzido com base num conjunto de toalhas de papel domésticas e um papel de filtro graduado. Uma câmara digital foi utilizada para gravar o movimento do fluido. As gravações da câmara foram feitas em

intervalos de um segundo e mostraram claramente um fenômeno de “ultrapassagem” que ocorreu em tais materiais.

Este fenômeno de “ultrapassagem”, demonstrado pelas imagens coletadas neste teste, comprova que a capilaridade ascendente não é capaz de identificar qual é o material com capilaridade mais rápido. Cada um dos quatro candidatos utilizados no estudo foi mais rápido, em determinado momento, em tempo ou distância. No entanto, este fenômeno não exclui a utilidade de um teste de capilaridade ascendente.

A Figura 36 ilustra o equipamento usado para avaliar a capilaridade vertical em provetes retangulares. Neste exemplo, de análise de malhas, o provete é preso em um suporte e imerso em uma cuba com água destilada, com um clip na outra extremidade, de modo a se obter uma imersão o mais vertical possível. A altura da coluna de líquido foi medida a cada 10 min, visualmente [106].

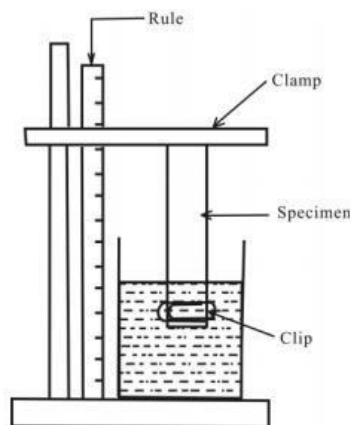


Figura 36– Aparato para testes de capilaridade vertical em malhas.
(Fonte: [106])

O princípio da condução de eletricidade foi utilizado por Babu *et al.* [107] para avaliar a capilaridade vertical, com o aparato da Figura 37. A altura do líquido foi medida por um circuito elétrico, a partir de sinais elétricos provenientes de fios metálicos funcionando como sensores de corrente elétrica, posicionados ao longo do espécime, na face anterior e na face posterior, alternadamente. À medida que o líquido atingia os sensores, acontecia a passagem de corrente elétrica entre os elétrodos, o que permitiu a determinação com precisão da altura de ascensão do líquido sem a necessidade de monitoramento visual de todo o processo.

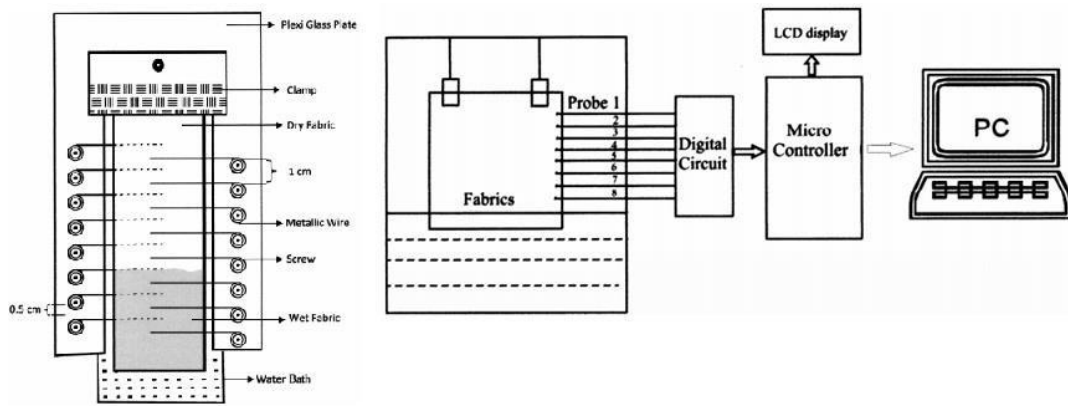


Figura 37 – Aparato elétrico utilizado para avaliação da capilaridade vertical.
(Fonte: [107])

3.6.5 Testes de Capilaridade Horizontal

Em vários sistemas capilares comuns que envolvem a capilaridade num plano horizontal, a pressão capilar é muito maior do que a força gravitacional, assim esta pode ser ignorada. A Figura 38 mostra o aparato utilizado para avaliar a capilaridade horizontal, onde a amostra, de 200 mm x 200 mm, foi colocada horizontalmente e uma pequena gota de água foi colocada sobre a malha. A água foi fornecida continuamente a partir de um reservatório e um sifão. O reservatório foi mantido sobre uma balança eletrônica, que permitiu o registo da massa de água absorvida pela malha. Uma vez que a massa absorvida pela amostra está relacionada com sua espessura, a absorção de água por unidade de espessura é utilizada para avaliar a capilaridade horizontal [106].

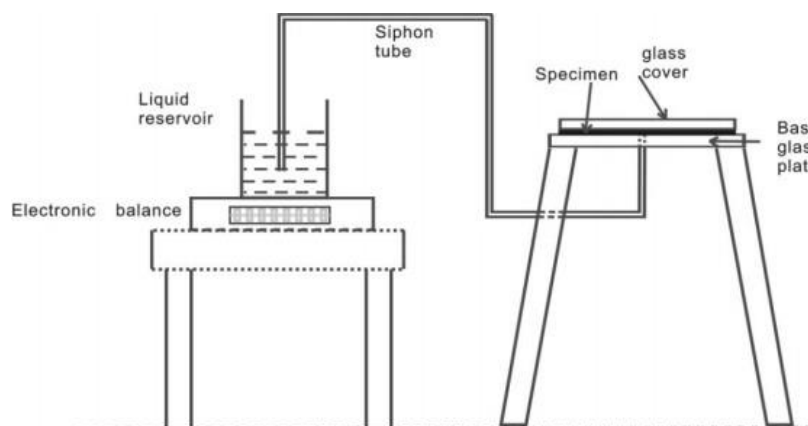


Figura 38 – Aparato para testes de capilaridade horizontal em malhas.
(Fonte: [106])

Uma outra técnica, por meio de processamento de imagens, foi utilizada por Memariyan & Ekhtiyari [108] para avaliação da capilaridade horizontal de tecidos, com o aparato da Figura 39, onde uma câmara conectada a um computador capturou imagens do tecido durante o espalhamento do líquido. A Figura 39(a) mostra o aparato para cálculo por processamento de imagens. A Figura 39(b) mostra uma imagem original e a mesma

imagem, segmentada, está mostrada na Figura 39(c). Com um programa específico de análise de imagem foi possível calcular a área de espalhamento, após a segmentação da imagem.

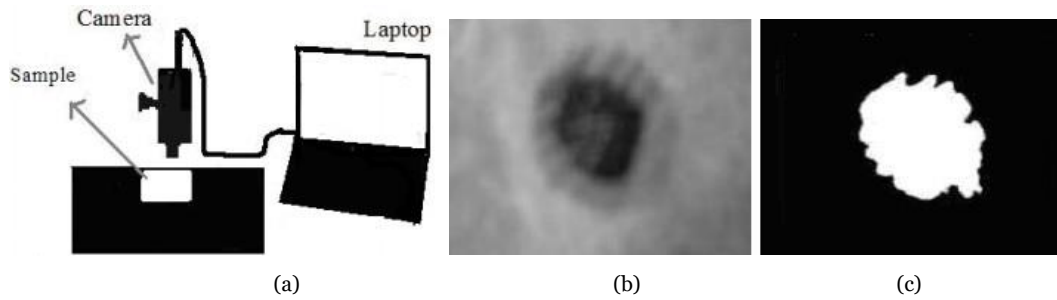


Figura 39 – Aparato para captura de imagens de capilaridade horizontal. ((Fonte: [108])

Uma técnica semelhante, também com processamento de imagens, foi utilizada por Morent *et al.* [109] para avaliação da capilaridade horizontal de tecidos, com o aparato da Figura 40. Neste ensaio, uma câmara capturou imagens do tecido durante o espalhamento do líquido a partir de uma seringa posicionada no centro do tecido. Também é mostrado um exemplo de imagem obtida e o respectivo processamento digital, o que permitiu o cálculo da área de espalhamento.

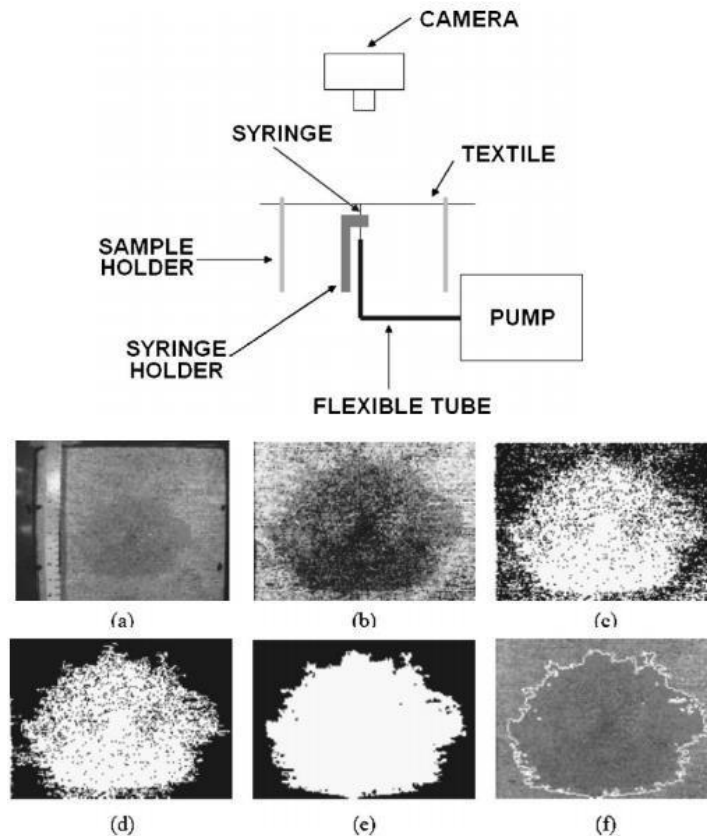


Figura 40 – Técnica de processamento de imagens utilizada por Morent *et al.* [109].

Raja *et al.* [110] analisaram o comportamento do espalhamento do líquido em tecidos utilizando o aparato mostrado na Figura 41. Uma visão frontal do instrumento de espalhamento transversal do líquido é apresentada em (a); em (b), pode-se ver o espalhamento do líquido após a queda de uma gota; em (c), observa-se a marcação e transferência da área de espalhamento, com um lápis; e em (d), observa-se a linha do gráfico transferido para o papel milimétrico. O cálculo da área é mostrado em (e).

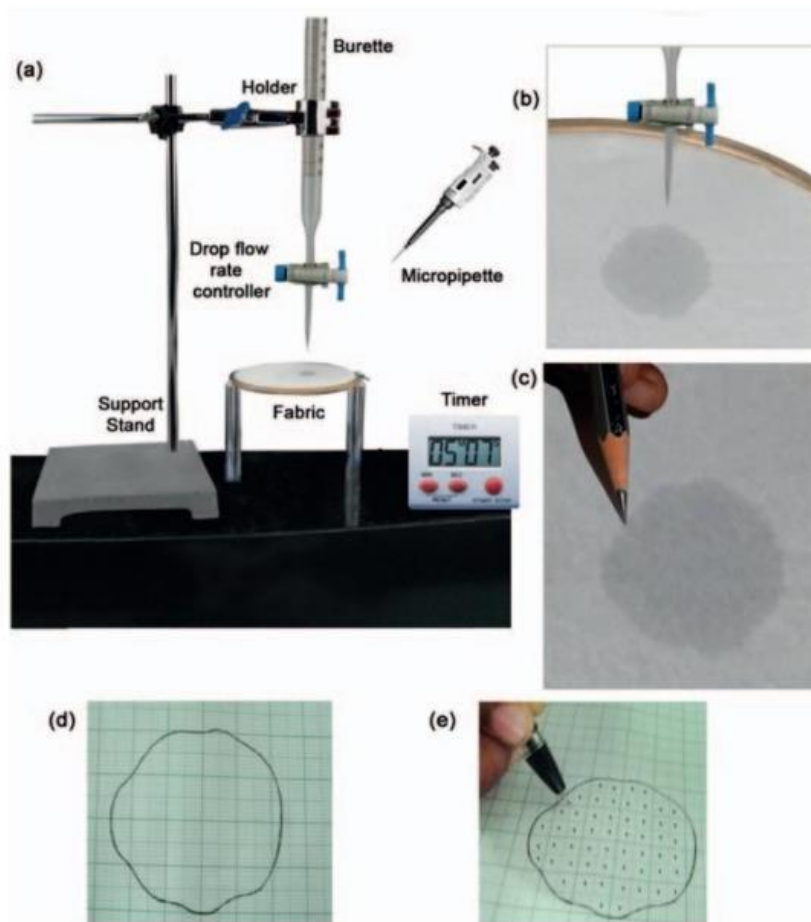


Figura 41 – Técnica utilizada para avaliação de capilaridade em tecidos.
(Fonte: [110])

Capítulo 4

4 Desenvolvimento de dispositivos de irrigação têxtil por capilaridade

4.1 Introdução

Este capítulo apresenta as experiências de desenvolvimento e implantação de dispositivos capilares para irrigação subterrânea aplicada a diversas culturas da agricultura familiar, no semiárido brasileiro. O objetivo destas experiências foi o de avaliar o desempenho de alguns resíduos têxteis no funcionamento como absorvedores, transportadores e mantenedores de umidade no solo, tanto em alguns dispositivos individuais (vasos, baldes) como em canteiros idealizados para testar a irrigação de culturas no semiárido, a baixo custo e com a reutilização destes resíduos têxteis, que são normalmente descartados no ambiente.

Estas atividades foram realizadas em várias etapas, desde a caracterização dos resíduos coletados em empresas paraibanas, incluindo testes de capilaridade vertical nos laboratórios da UBI, até as diversas investigações de campo realizadas nos Estados do Piauí, Paraíba e Rio Grande do Norte, conforme descritos a seguir.

4.2 Plano experimental

Com base no estado-de-arte do transporte líquido, definiu-se um plano experimental de forma a desenvolver e testar dispositivos de irrigação que incorporam resíduos têxteis. Este plano que a seguir se apresenta é composto por diversas etapas, sendo as principais:

1. Recolha de resíduos têxteis em diversas confeções do Estado da Paraíba;
2. Caracterização laboratorial dos resíduos têxteis, quanto às suas propriedades físicas e capilares;
3. Desenvolvimento de dispositivos/sistemas de irrigação subterrânea por capilaridade, utilizando resíduos têxteis;
4. Caracterização da capilaridade horizontal em campo, em conjunto com as comunidades locais;
5. Construção de canteiros experimentais, para coleta de dados de desempenho dos sistemas desenvolvidos;
6. Análise de resultados;

7. Desenvolvimento de dispositivos de baixo custo para utilização em oficinas com comunidades no semiárido.

Todos as etapas referidas são discutidas detalhadamente nos próximos pontos. A Figura 42 resume o plano experimental da tese.

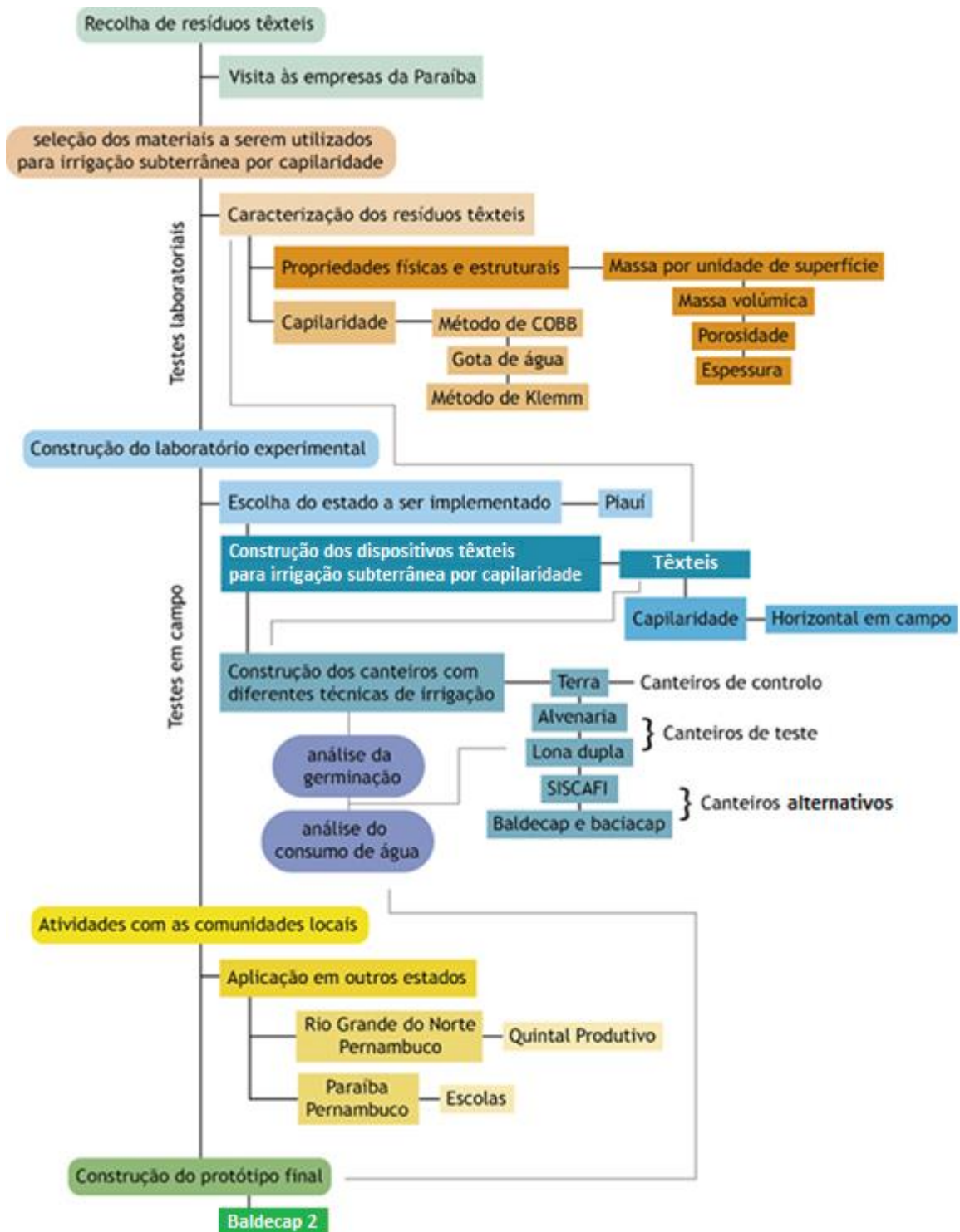


Figura 42 – Esquema do plano experimental da tese.

4.3 Recolha de resíduos têxteis em diversas confecções do Estado da Paraíba

Na primeira etapa do processo experimental foram realizadas visitas a empresas do setor têxtil no Estado da Paraíba, mais precisamente na cidade de João Pessoa, para a recolha de resíduos têxteis. Considerando os princípios da capilaridade, procurou-se recolher compostos de fibras hidrófobas de baixa “recuperação de humidade”, de forma a não absorverem humidade e, portanto, não dilatarem também, conforme descrito no Capítulo 3, ponto 3.4. Procurou-se reunir resíduos de fibras finas, visando assim materiais com capilares mais estreitos, objetivando uma maior capilaridade e mais longa distância de transporte de líquidos. Por razões ecológicas, também se testaram fibras de algodão, biodegradáveis, que são hidrófilas e de maior molhabilidade. As empresas visitadas estão descritas na Tabela 6:

Tabela 6 – Empresas visitadas, para coleta de resíduos têxteis.

Empresa	Website	Resíduos coletados
Vila Romana	www.vilaromana.com.br	Resíduos de tecidos de microfibras 100% poliéster, utilizadas na produção de fatos masculinos.
Companhia do Corpo	www.ciadocorpo.com.br	Resíduos de malhas de poliamida com elastano, utilizadas na produção de moda praia (biquínis e maiôs) e roupas de desporto.
Natural Cotton Color	www.naturalcottoncolor.com.br	Resíduos de malhas de algodão colorido naturalmente, utilizada em confecção de coleções de moda homem e senhora

4.4 Caracterização dos resíduos têxteis

Seguidamente e após terem sido recolhidos os resíduos têxteis pretendidos, foram selecionadas amostras de materiais têxteis e foi feita a sua caracterização para possível utilização no fabrico dos dispositivos têxteis para irrigação subterrânea por capilaridade. Apresenta-se na Tabela 7 a respectiva caracterização das amostras selecionadas.

4.4.1 Caracterização das propriedades físicas e estruturais do material têxtil

Todos os testes descritos nos próximos pontos foram realizados em condições ambientais controladas, à temperatura de $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ e humidade relativa do ar de $65\% \pm 2\%$, nos laboratórios do Departamento de Ciência e Tecnologias Têxteis da Universidade da Beira Interior. Em todos, foram testados 5 provetes de cada uma das amostras.

Tabela 7 – Descrição dos materiais caracterizados.

Amostra	Descrição	Tipologia	Composição	Fornecedor
1	Listra marinho	Tecido	Microfibra 100% poliéster	Vila Romana
2	Listra preta	Tecido	Microfibra 100% poliéster	Vila Romana
3	Liso preta	Tecido	Microfibra 100% poliéster	Vila Romana
4	Pérola	Malha circular	100% algodão naturalmente colorido	Natural Cotton Color
5	Rubi	Malha circular	algodão naturalmente colorido e algodão branco	Natural Cotton Color
6	Lycra™ preta	Malha circular	90% Poliamida 10% Elastano	Companhia do Corpo
7	Lycra™ preta	Malha circular	76% Poliamida 24% Elastano	Companhia do Corpo

4.4.1.1 Espessura (μm)

As espessuras dos provetes foram medidas usando o KES-FB3 - Teste de Compressão do Sistema Kawabata de Avaliação de Tecidos, como mostra a Figura 43. Neste método o provete é comprimido por dois pratos de aço circulares, tendo 2 cm^2 de área. A velocidade de compressão é 50 mm/s e quando a pressão atinge 50 gf/cm^2 , o processo de descompressão ocorre com a mesma velocidade [111].



Figura 43 – Teste de compressão - Sistema Kawabata de avaliação de tecidos.

Nesta tese, o valor considerado de espessura do provete foi quando a pressão sobre ele atingiu 0.5 gf/cm^2 .

4.4.1.2 Massa por unidade de superfície (g/m²)

A massa por unidade de superfície foi calculada segundo a norma ASTM D3776-96 - Método Padronizado para Massa por Unidade de Área dos Tecidos, opção A – peça inteira, rolo ou corte [112].

4.4.1.3 Massa volúmica (g/m³)

A massa volúmica do material foi calculada seguindo a Equação 12.

$$\rho = \frac{m}{h} \quad (12)$$

Onde: m é a massa por unidade de superfície (g/m²);

h é a espessura do material (m).

4.4.1.4 Porosidade (ϵ)

A porosidade dos materiais têxteis foi calculada segundo a Equação 13.

$$\epsilon = 1 - \frac{\rho}{\rho_t} \quad (13)$$

Onde: ρ é a massa volúmica do material (kg/m³), dado pela Equação 12 .

ρ_t é a massa volúmica polimérica do material componente, descritos na Tabela 8.

Tabela 8 – Massa volúmica e densidade de alguns materiais.

Material	Massa volúmica (kg/m ³)	Densidade
Água ($\approx 25^\circ\text{C}$)	1000	1.00
Poliéster	1380	1.38
Algodão	1510	1.51
Poliamida	1120	1.12
Elastano	1200	1.20

4.4.1.5 Resultados

Neste sub-capítulo serão analisados e discutidos os resultados obtidos nos testes laboratoriais relativos à caracterização das amostras de resíduos têxteis: caracterização laboratorial da capilaridade do material têxtil, Teste de COBB, Teste da Gota de Água e Teste de Klemm (Capilaridade Vertical). A Tabela 9 apresenta os resultados da caracterização dos resíduos têxteis.

Tabela 9 – Resultados dos testes de caracterização das amostras de tecidos [$n=5$].

Amostra	Composição	Massa por unidade de superfície (g/m ²)		Espessura (μm)		Massa volúmica (kg/m ³)	Porosidade
		m_1	\bar{m}	h_1	\bar{h}		
1	Microfibras 100% poliéster	$m_1 = 155.3$	$\bar{m} = 155.2 \pm 0.080$	$h_1 = 321$	$\bar{h} = 318.2 \pm 1.6$	487.7	0.65
		$m_2 = 155.3$		$h_2 = 317$			
		$m_3 = 155.1$		$h_3 = 317$			
		$m_4 = 155.3$		$h_4 = 317$			
		$m_5 = 155.2$		$h_5 = 319$			
2	Microfibras 100% poliéster	$m_1 = 158.7$	$\bar{m} = 158.4 \pm 0.185$	$h_1 = 313$	$\bar{h} = 315.2 \pm 1.5$	502.5	0.64
		$m_2 = 158.4$		$h_2 = 317$			
		$m_3 = 158.3$		$h_3 = 316$			
		$m_4 = 158.2$		$h_4 = 316$			
		$m_5 = 158.2$		$h_5 = 314$			
3	Microfibras 100% poliéster	$m_1 = 191.2$	$\bar{m} = 191.3 \pm 0.063$	$h_1 = 364$	$\bar{h} = 364.4 \pm 1.0$	524.9	0.62
		$m_2 = 191.3$		$h_2 = 363$			
		$m_3 = 191.4$		$h_3 = 364$			
		$m_4 = 191.3$		$h_4 = 366$			
		$m_5 = 191.3$		$h_5 = 365$			
4	100% algodão naturalmente colorido - pérola	$m_1 = 158.9$	$\bar{m} = 158.7 \pm 0.160$	$h_1 = 363$	$\bar{h} = 367.8 \pm 2.6$	431.4	0.71
		$m_2 = 158.5$		$h_2 = 369$			
		$m_3 = 158.6$		$h_3 = 368$			
		$m_4 = 158.7$		$h_4 = 371$			
		$m_5 = 158.9$		$h_5 = 368$			
5	algodão naturalmente colorido e algodão branco	$m_1 = 160.3$	$\bar{m} = 160.4 \pm 0.075$	$h_1 = 418$	$\bar{h} = 417.2 \pm 5.7$	384.4	0.74
		$m_2 = 160.4$		$h_2 = 417$			
		$m_3 = 160.5$		$h_3 = 426$			
		$m_4 = 160.3$		$h_4 = 417$			
		$m_5 = 160.4$		$h_5 = 408$			
6	90% Poliamida 10% Elastano	$m_1 = 327.4$	$\bar{m} = 327.5 \pm 0.089$	$h_1 = 610$	$\bar{h} = 614.4 \pm 3.4$	533.0	0.53
		$m_2 = 327.6$		$h_2 = 618$			
		$m_3 = 327.6$		$h_3 = 615$			
		$m_4 = 327.5$		$h_4 = 618$			
		$m_5 = 327.4$		$h_5 = 611$			
7	76% Poliamida 24% Elastano	$m_1 = 256.9$	$\bar{m} = 256.9 \pm 0.162$	$h_1 = 447$	$\bar{h} = 448.2 \pm 1.5$	573.1	0.50
		$m_2 = 257.1$		$h_2 = 448$			
		$m_3 = 256.6$		$h_3 = 447$			
		$m_4 = 256.8$		$h_4 = 448$			
		$m_5 = 256.9$		$h_5 = 451$			

Observando a Tabela 9, verifica-se variações significativas na maioria dos parâmetros caracterizados. Existe uma variação na massa por unidade de superfície de 155.2 g/m² (amostra 1) a 327.5 g/m² (amostra 6), representando uma diferença de 111.02%. A espessura média variou 94.92% entre os valores de maior e menor espessura, 315.2 μm (amostra 2) e 614.4 μm (amostra 6), respectivamente. Por último, a porosidade dos materiais variou 48.0%, entre as amostras de menor e maior valor, respectivamente as amostras 5 e 7.

4.4.2 Caracterização laboratorial da capilaridade do material têxtil

Todos os testes laboratoriais apresentados nos próximos pontos foram realizados em condições ambientais controladas, à temperatura de $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ e humidade relativa do ar de $65\% \pm 2\%$.

4.4.2.1 Teste de Cobb

O Teste de Cobb é um teste padrão da indústria papelreira para determinar a quantidade de líquido absorvido pelo papel, papel-cartão e papel-cartão canelado [113] em um determinado período de tempo e condições padronizadas [114]. Assim como o papel, o têxtil também é um material fibroso, por isso o Teste de Cobb pode facilmente ser aplicado na caracterização de tecidos e malhas.

Como o Teste de Cobb foi utilizado apenas como um teste preliminar, afim de verificar a capacidade das amostras de transportar líquido por capilaridade, foi apenas testado um provete de cada uma das amostras. As dimensões dos provetes testados foram de 5 cm x 5 cm (25 cm^2) e o teste foi efetuado durante 60 segundos ($45'' + 15''$). A Figura 44 apresenta o aparelho utilizado para as medições do Teste de Cobb.



Figura 44 – Aparelho de medição de absorção de líquidos para o Teste de Cobb.

Para uma melhor análise dos resultados, os valores de água absorvida pela amostra são expressos seguindo a equação 14 [93]:

$$\Delta cobb = \frac{m_m}{m_s} \times 100 \quad (14)$$

Onde: m_m e m_s são as massas molhada e seca das amostras testadas, respectivamente.

A Tabela 10 e a Figura 45 apresentam os resultados obtidos.

Tabela 10 – Resultados do Teste de Cobb.

Amostra	Massa (g)		Δcobb (%)
	m_s	m_m	
1	0.77	1.22	58.44
2	0.78	1.15	47.43
3	0.94	1.50	59.57
4	0.80	0.95	18.75
5	0.81	0.85	4.94
6	1.72	2.29	33.14
7	1.28	2.06	60.94

Resultado do Teste de COBB

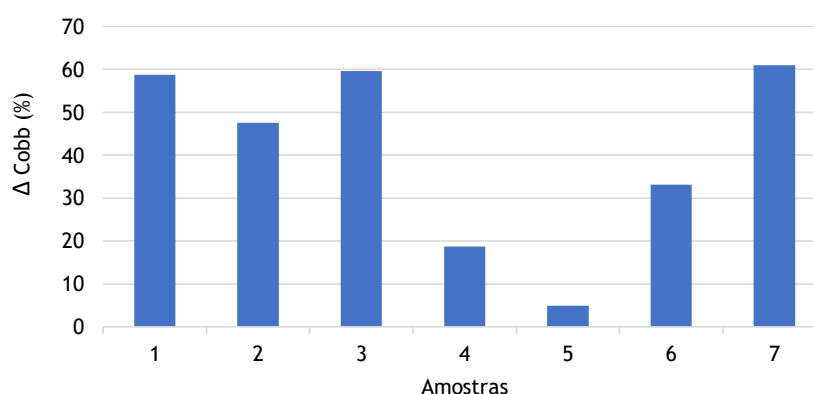


Figura 45 – Gráfico dos resultados obtidos no Teste de Cobb.

Como podemos observar na Figura 45, apesar de a amostra 5 ser composta por fibras hidrófilas (algodão), foi a amostra que menos absorveu água (4.90%). Esta amostra também é a que possui a menor massa volúmica (384.4 kg/m^3) e a maior porosidade (0.74). Deve-se observar que as amostras de algodão não foram lavadas antes do teste e que o algodão naturalmente colorido possui mais impurezas que o algodão normal, o que pode levar a amostra a criar características hidrófobas.

Este comportamento do algodão naturalmente colorido também foi analisado por Gu [115], onde relata que possui 14.19% de gordura, quando comparado com o algodão branco convencional, que possui apenas 1.8%. Este algodão naturalmente colorido apresentou um *regain* de 3.87%, enquanto o algodão branco apresentou um *regain* de 8.6%. Após algumas lavagens e tratamento com uma solução de NaOH, o *regain* do naturalmente colorido aumentou para 8.69% [115].

Por outro lado, a amostra 7 foi a que apresentou o melhor índice de absorção (60.94%). Conforme Tabela 9, a amostra 7 possui a menor porosidade (0.50) e a maior massa volúmica (573.1 kg/m³). O fato desta amostra ser mais densa poderá significar poros mais estreitos, o que causará maiores distâncias de transporte de líquido por capilaridade e portanto, maior índice de absorção Cobb.

Já as amostras 1, 2 e 3, que são todas compostas por microfibras de poliéster, apresentam apenas uma pequena variação nos índices de absorção. Os valores de porosidade e de massa volúmica destas amostras também são similares.

4.4.2.2 Teste da gota de água

O teste que a seguir se apresenta consiste em depositar uma gota de água destilada sobre a amostra têxtil a ser analisada, aguardar que a gota seja completamente absorvida pelo material, cronometrando o tempo necessário para este processo. Importa ressaltar que o método utilizado foi uma adaptação em relação ao método original da norma, uma vez que este foi desenvolvido para avaliar a solidez à gota de água em tintos. Foram testados cinco provetes de cada uma das sete amostras, com dimensões de 10 x 4 cm. Para estabilizar mecanicamente a amostra, foi utilizado um bastidor.

Nesta investigação, o teste da gota de água foi realizado adotando a norma NP EN ISO 105-E07 (AATCC 104), de Solidez à Gota de água.

A Tabela 11 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 11 – Resultado do teste da gota de água [n=5].

Amostra	Tempo de absorção (minutos)					Média [n=5]
	Provete 1	Provete 2	Provete 3	Provete 4	Provete 5	
1	0.20	0.13	0.27	0.67	0.83	0.42
2	9	7	5	7	9	7
3	0.42	0.33	0.33	0.33	0.33	0.35
4	20 (a)	20 (a)	20 (a)	20 (a)	20 (a)	20 (a)
5	20 (a)	20 (a)	20 (a)	20 (a)	20 (a)	20 (a)
6	4	5	4	4	4	4.2
7	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

(a) Após 20 minutos, não manifestou qualquer molhagem.

Com base nos resultados apresentados na Tabela 11 e na Figura 46, verificou-se novamente que as amostras 4 e 5, apesar de constituídas de algodão, fibras hidrófilas, não apresentaram qualquer tipo de molhagem após 20 minutos. A amostra 7 foi a que absorveu a gota de água

mais rápido, sendo também a amostra menos porosa. Em seguida, surgem as amostras 1 e 3, compostas por microfibras de poliéster. Em comparação com o Teste de Cobb, as amostras que absorveram um maior índice de água também foram as amostras que absorveram a gota de água mais rápido, e vice-versa.

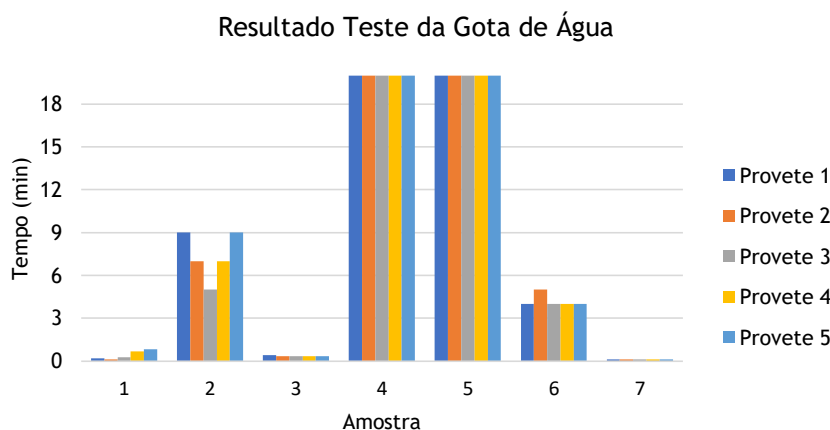


Figura 46 – Gráfico dos resultados obtidos no teste da gota de água.

4.4.2.3 Teste de Klemm (capilaridade vertical)

Para caracterizar a capilaridade vertical dos materiais têxteis, foi realizado o Teste de Klemm de ascensão capilar, seguindo a Norma ISO 8787-1986 [116]. Esta normativa é geralmente utilizada para avaliar a absorção de água por capilaridade em papel e papel-cartão de elevadas capacidades de absorção. O provete a ser testado é preso em um aparelho que possui um reservatório de água. O bordo final do provete é imergido verticalmente em água e a leitura da altura da água transportada por capilaridade é realizada após determinado período de tempo. Neste caso, as amostras foram medidas várias vezes entre 2 e 45 minutos. Foram testados 4 provetes de cada amostra, com dimensões de 25 x 2 cm. Os resultados obtidos são apresentados nas Tabelas 12 a 18 e Figuras 47 a 53.

Tabela 12 – Resultados do teste de capilaridade vertical da amostra 1 [n=4].

		Altura (cm)			
		Provete 1	Provete 2	Provete 3	Provete 4
AMOSTRA 1	Tempo (min)				
	2	3	2	3	3
	5	4	3	5	5
	10	6	7	11	11
	15	9	9	11	12
	20	11	11	12	12
	30	12	11	12	12
45	12	11	12	12	

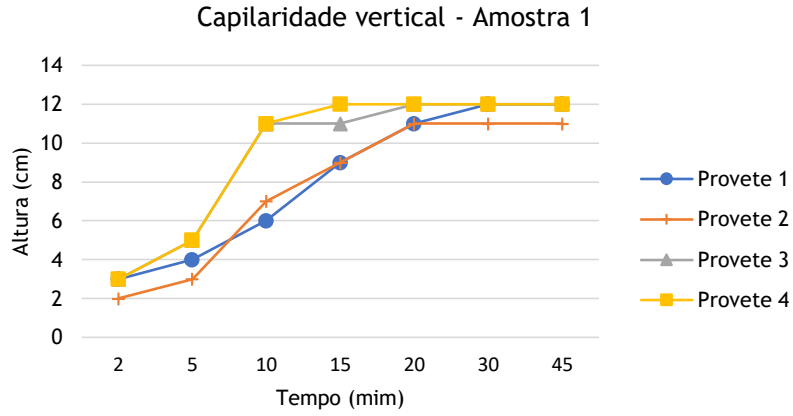


Figura 47 – Gráfico dos resultados do teste de capilaridade vertical da amostra 1 [n=4].

Tabela 13 – Resultados do teste de capilaridade vertical da amostra 2 [n=4].

		Altura (cm)			
		Provete 1	Provete 2	Provete 3	Provete 4
AMOSTRA 2	Tempo (min)	3	3	3	2
	2	5	5	4	5
	5	8	8	7	8
	10	9	9	8	9
	15	9	9	8	10
	20	9	9	8	11
	30	9	9	8	11
45	9	9	8	11	

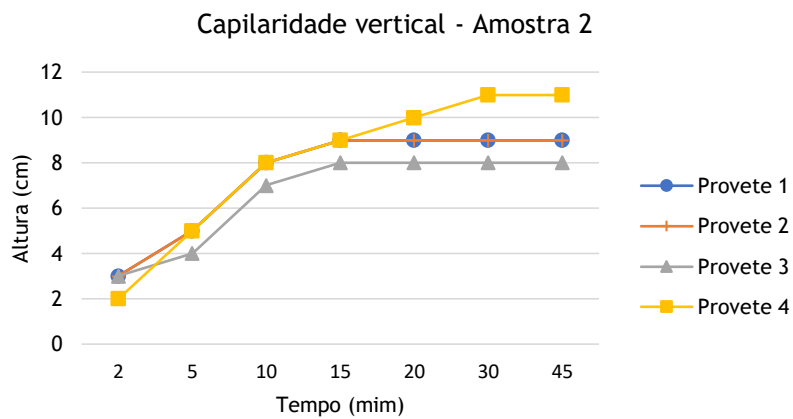


Figura 48 – Gráfico dos resultados do teste de capilaridade vertical da amostra 2 [n=4].

Tabela 14 – Resultados do teste de capilaridade vertical da amostra 3 [n=4].

	Tempo (min)	Altura (cm)			
		Provete 1	Provete 2	Provete 3	Provete 4
AMOSTRA 3	2	2	3	3	3
	5	4	5	5	5
	10	7	8	9	9
	15	10	10	11	11
	20	12	12	12	12
	30	12	12	12	12
	45	12	12	12	12

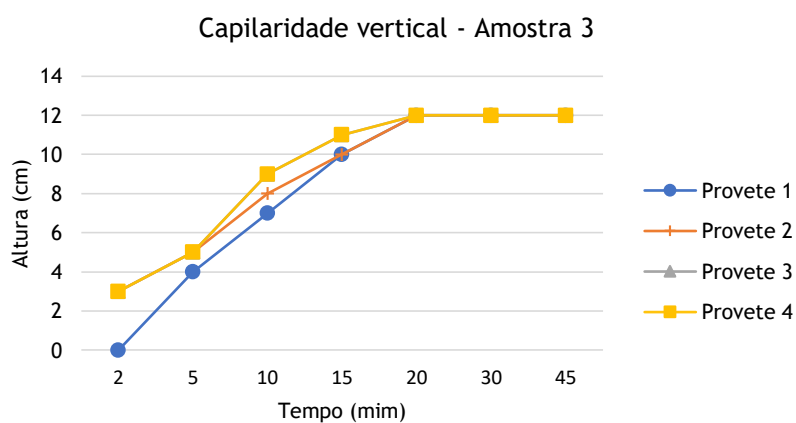


Figura 49 – Gráfico dos resultados do teste de capilaridade vertical da amostra 3 [n=4].

Tabela 15 – Resultados do teste de capilaridade vertical da amostra 4 [n=4].

	Tempo (min)	Altura (cm)			
		Provete 1	Provete 2	Provete 3	Provete 4
AMOSTRA 4	2	1	1	1	1
	5	2	2	2	2
	10	3	2	3	2
	15	4	2	3	2
	20	4	2	3	2
	30	4	2	3	2
	45	4	2	3	2

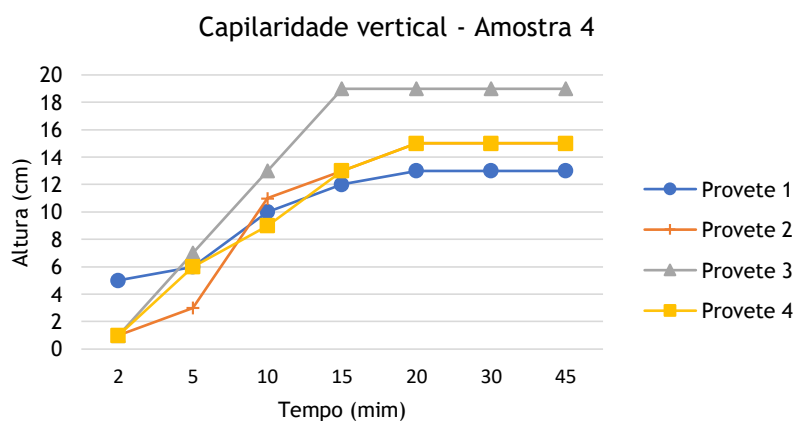


Figura 50 – Gráfico dos resultados do teste de capilaridade vertical da amostra 4 [n=4].

Tabela 16 – Resultados do teste de capilaridade vertical da amostra 5 [n=4].

Tempo (min)	Altura (cm)			
	Provete 1	Provete 2	Provete 3	Provete 4
2	1	1	1	2
5	2	1	1	3
10	2	1	1	3
15	2	1	1	3
20	2	1	1	3
30	2	1	1	3
45	2	1	1	3

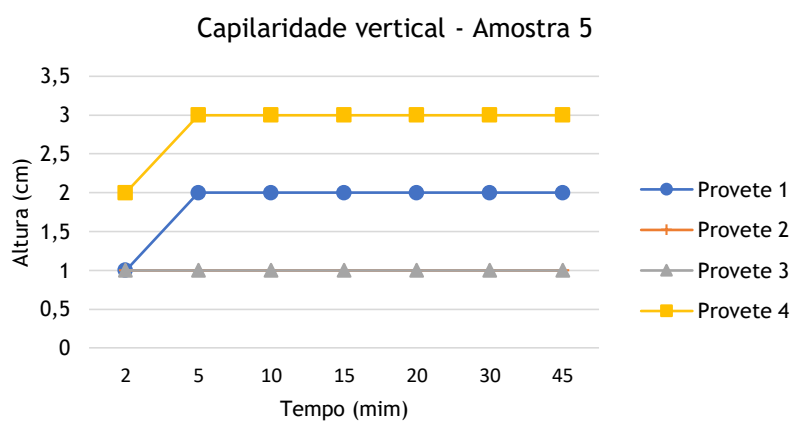


Figura 51 – Gráfico dos resultados do teste de capilaridade vertical da amostra 5 [n=4].

Tabela 17 – Resultados do teste de capilaridade vertical da amostra 6 [n=4].

Tempo (min)	Altura (cm)			
	Provete 1	Provete 2	Provete 3	Provete 4
2	3	3	3	3
5	6	5	4	4
10	7	7	5	5
15	8	8	6	5
20	9	9	7	6
30	9	9	7	7
45	9	9	7	7

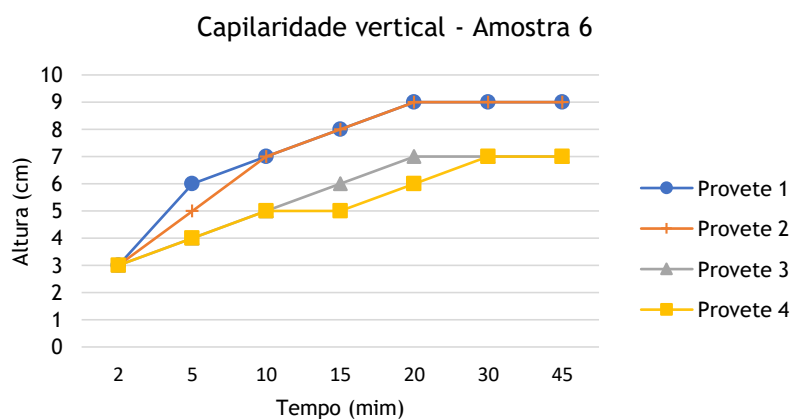


Figura 52 – Gráfico dos resultados do teste de capilaridade vertical da amostra 6 [n=4].

Tabela 18 – Resultados do teste de capilaridade vertical da amostra 7 [n=4].

	Tempo (min)	Altura (cm)			
		Provete 1	Provete 2	Provete 3	Provete 4
AMOSTRA 7	2	5	1	1	1
	5	6	3	7	6
	10	10	11	13	9
	15	12	13	19	13
	20	13	15	19	15
	30	13	15	19	15
	45	13	15	19	15

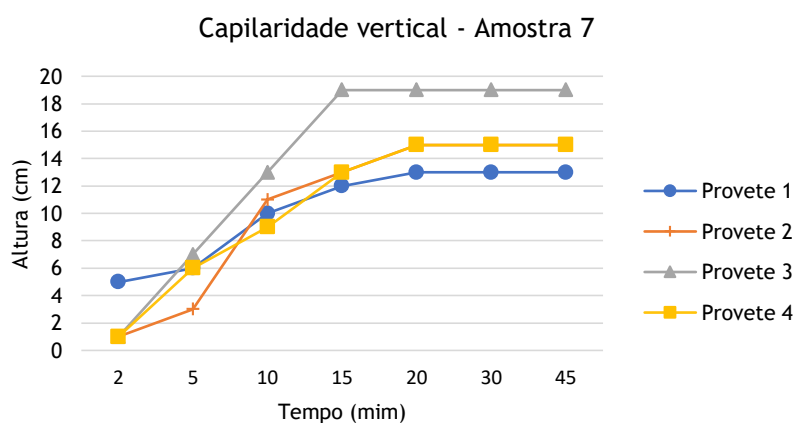


Figura 53 – Gráfico dos resultados do teste de capilaridade vertical da amostra 7 [n=4].

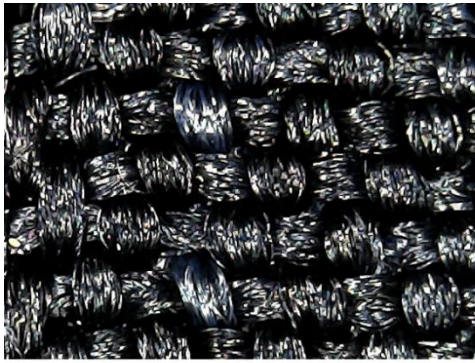
A Tabela 19 resume o desempenho da ascensão capilar de cada uma das amostras analisadas.

Tabela 19 – Resumo das alturas obtidas nos testes de capilaridade vertical [n=4].

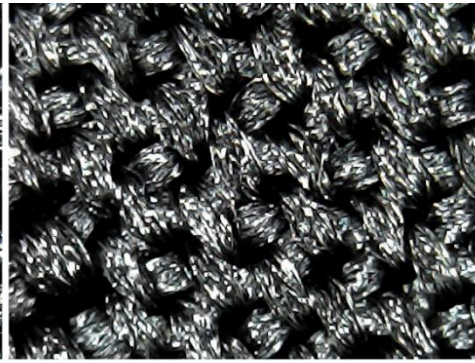
Amostra	Composição	Altura média a 45 minutos (cm) [n=4]	Porosidade	Espessura (µm)	Massa por unid. de superfície (g/m ²)
1	Microfibra 100% poliéster	11.75	0.65	318.2	155.2
2	Microfibra 100% poliéster	9.25	0.64	315.2	158.4
3	Microfibra 100% poliéster	12.00	0.62	364.4	191.3
4	100% algodão nat. col. pérola	2.75	0.71	367.8	158.7
5	algodão naturalmente colorido rubi e algodão branco	1.75	0.74	417.2	160.4
6	90% Poliamida 10% Elastano	8.00	0.53	614.4	327.5
7	76% Poliamida 24% Elastano	15.50	0.50	448.2	256.9

4.5 Imagens dos resíduos têxteis utilizados

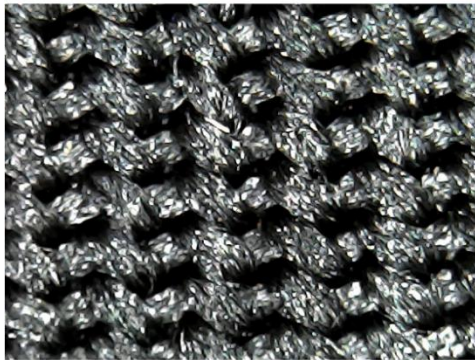
As imagens que a seguir se apresentam foram obtidas através de microscópio óptico USB e mostram as amostras 1 a 7.



1 mm | **Amostra 1** - tecido
Listra marinho - microfibra 100% poliéster



1 mm | **Amostra 2** - tecido
Listra preta - microfibra 100% poliéster



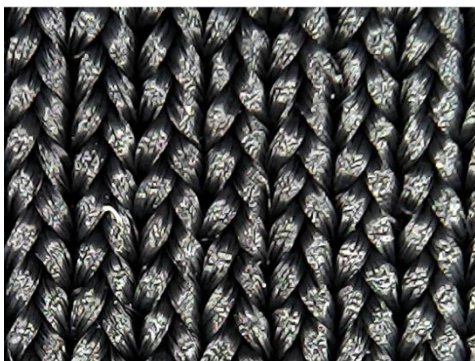
1 mm | **Amostra 3** - tecido
Liso preta - microfibra 100% poliéster



1 mm | **Amostra 4** - malha circular
100% algodão naturalmente colorido - pérola



1 mm | **Amostra 5** - malha circular
algodão naturalmente colorido - rubi e branco



1 mm | **Amostra 6** - malha circular
90% Poliamida 10% Elastano



1 mm | **Amostra 7** - malha circular
76% Poliamida 24% Elastano

Figura 54 – Imagens das amostras 1 a 7.

Comparando-se os resultados das Tabelas 9 e 19 com as imagens da Figura 54, pode-se concluir:

- Os provetes da amostra 7 (76% poliamida/24% elastano) tiveram o melhor desempenho de capilaridade vertical, com 15.5 cm de altura média a um tempo de 45 min, atingindo um máximo de 19 cm (Tabela 18). Como já referido, esta amostra também é a amostra menos porosa, com 0.50, reduzindo os espaços entre as fibras e criando canais mais estreitos que potenciam a ascensão capilar.
- As amostras 1, 2 e 3, de microfibras 100% poliéster, apresentaram valores máximos de ascensão capilar muito próximos (12.00 cm, 11.00 cm e 12.00 cm, respectivamente), o mesmo acontecendo para os valores médios dos 4 provetes: 11.75 cm, 9.25 cm e 12.00 cm, respectivamente. Logo a seguir, aparece a amostra 6 (90% poliamida / 10% elastano) com 8.00 cm de média de 4 provetes de cada amostra.

Das imagens, observa-se que:

- As três primeiras amostras de tecidos possuem estrutura semelhante, no que diz respeito aos tamanhos dos poros e das fibras. Os bons resultados obtidos nos testes de capilaridade vertical confirmam que também são candidatas a utilização no desenvolvimento de dispositivos de irrigação têxtil por capilaridade.
- As amostras de algodão naturalmente colorido (4 e 5) são as que apresentaram maior porosidade (0.71 e 0.74), correspondendo a poros de maiores dimensões, diminuindo a ascensão capilar vertical. Além disso, o fato de possuírem uma maior percentual de gordura e baixo *regain*, contribuíram para os piores desempenhos nos testes de capilaridade vertical (médias de 2.75 cm e 1.75 cm, respectivamente), bem abaixo das amostras sintéticas.
- As amostras 6 e 7 são as que possuem poros de menor dimensão e malha mais fechada, o que contribuiu para o bom desempenho na capilaridade vertical.

Dos resultados, concluiu-se que todos os resíduos têxteis sintéticos testados em laboratório (amostras 1, 2, 3, 6 e 7), são candidatos à utilização em dispositivos de irrigação subterrânea por capilaridade, uma vez que apresentaram bom desempenho de capilaridade vertical, se considerarmos as distâncias verticais necessárias para a irrigação subterrânea, da ordem de 10 a 20 cm, correspondentes aos tamanhos médios e profundidades das raízes das plantas a serem cultivadas com este método de irrigação.

Por outro lado, a capilaridade horizontal também é importante, principalmente no caso do agricultor desejar construir canteiros muito longos. Para avaliar a capilaridade horizontal,

foram realizados testes de campo no próprio local de construção dos canteiros, com amostras que foram utilizadas naquela oportunidade, como descrito no ponto 4.7.

4.6 Caracterização de outros resíduos têxteis

4.6.1 Caracterização das propriedades físicas e estruturais do material têxtil

Devido à diversidade da malha em poliamida recolhida em uma das empresas, a Companhia do Corpo, visando o desenvolvimento experimental desta investigação, um segundo grupo de resíduos foi analisado no Laboratório Têxtil da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). A massa por unidade de superfície foi medida seguindo a norma NRB 10591 [117], utilizando 5 provetes de 15 cm x 15 cm (225 cm²) para cada uma das amostras. Os valores apresentados na Tabela 20 referem-se à média dos cinco provetes.

A NBR 10591 é semelhante à norma ASTM 3776-96 seção 9C – Pequenos Provetes de Tecidos. Nesta última, a área mínima dos provetes é de 130 cm², de onde conclui-se que o teste realizado atende a ambas as normas.

Tabela 20 – Gramaturas das amostras enviadas ao laboratório da UFRN.

Amostra	Descrição	Tipologia	Composição	Massa por unidade de superfície (g/m ²) [n=5]
8	Preta	Malha circular	87.9% Poliamida 12.1% Elastano	267
9	Bege	Malha circular	100% Poliamida	137
10	Laranja	Malha circular	80% Poliamida 20% Elastano	178
11	Branca	Malha circular	85% Poliamida 15% Elastano	256

Após esta análise, foi possível perceber que estes novos resíduos são muito similares, quanto à composição, às amostras de resíduos 6 e 7 do ponto anterior. Dessa forma, estes novos resíduos foram utilizados nas oficinas com as comunidades locais, em quintais produtivos e hortas escolares (ver pontos 4.9.1 e 4.9.2).

4.7 Caracterização da capilaridade horizontal em teste de campo

Os resíduos têxteis sintéticos correspondentes às amostras descritas anteriormente (1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 10 e 11) foram utilizados para o desenvolvimento de dispositivos capilares e

exsudantes para a irrigação subterrânea em culturas típicas do semiárido, os quais foram testados em um laboratório experimental localizado no município de São Raimundo Nonato, no estado do Piauí, comparando técnicas como a aspersão, gotejamento e capilaridade têxtil.

Em uma etapa inicial foram realizados testes de demonstração de capilaridade horizontal dos têxteis, envolvendo a comunidade local numa sessão de sensibilização, como pode ser observado na Figura 55, na Comunidade Brinco de Ouro, no Rio Grande do Norte.

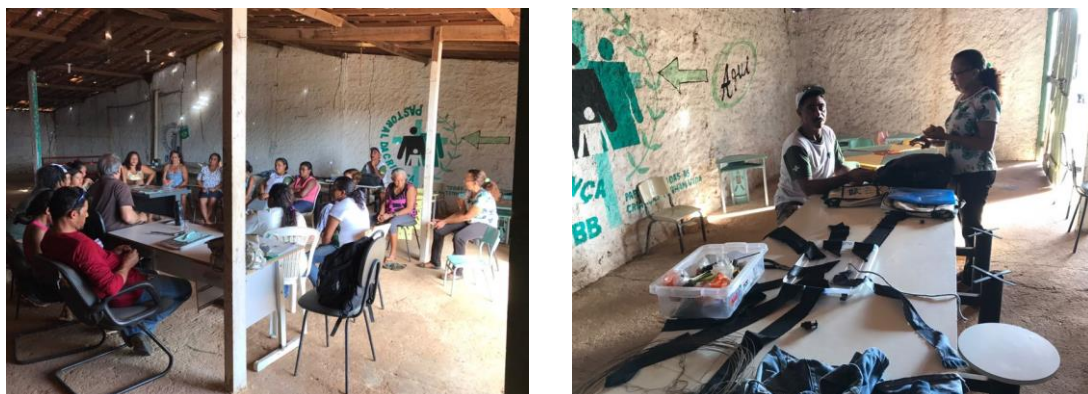


Figura 55 – Oficina para demonstração de capilaridade horizontal dos têxteis.

Optou-se pela realização da forma mais simples de teste para que a comunidade pudesse observar o processo de capilaridade dos resíduos têxteis, além de compreender a importância da substituição da mangueira convencional pelos dispositivos de irrigação subterrânea desenvolvidos no local. O processo de caracterização da capilaridade horizontal nas comunidades, foi realizado em quatro simples etapas:

1. Montar as fitas ou mantas a serem testadas utilizando os resíduos têxteis arrecadados nas empresas. Os resíduos foram dispostos em forma de sanduíche, costurando três camadas, por exemplo: camadas externas da amostra 1 e amostra 2, com uma camada interna da amostra 6, formando uma fita grossa (dispositivo II); outras combinações foram feitas para fitas e mantas para o transporte subterrâneo de água, como mostra a Figuras 56 (no laboratório experimental, no Piauí) e a Tabela 21. As dimensões dos dispositivos testados foram: mantas: 100 cm x 200 cm; e fitas, 10 cm x 300 cm.
2. Dispor as fitas ou mantas a serem testadas em uma superfície regular (ex. mesa ou chão) e mergulhar a ponta do dispositivo em um alguidar com água, como mostra a Figura 57;
3. Observar o transporte de água, devido à capilaridade;
4. Deixar os dispositivos em teste durante 60 minutos,
5. Medir a distância alcançada pela água, utilizando uma fita métrica.



(a) (b)
 Figura 56 – Testes de campo da capilaridade horizontal: (a) mantas; (b) fitas.



Figura 57 – Exemplo de teste da capilaridade horizontal em fitas.

A Tabela 21 descreve os dispositivos testados em campo e seus respectivos resultados.

Tabela 21 – Dispositivos testados no teste de capilaridade horizontal.

	Dispositivo	Constituição por camadas			Comprimento do transporte de líquido (mm)	Tempo (min)
		Camada 1 (externa)	Camada 2 (interna)	Camada 3 (externa)		
Mantas	I	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	1200	60
	II	Amostra 1	Amostra 6	Amostra 2	1500	60
	III	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 7	1300	60
Fitas	IV	Amostra 7	Amostra 7	Amostra 7	2500	60
	V	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	2350	60
	VI	Amostra 6	Amostra 3	Amostra 6	2450	60
	VII	Amostra 3	Amostra 5	Amostra 7	2000	60

A escolha dos tecidos para a construção destes dispositivos capilares (mantas e fitas) foi baseada nos seguintes critérios:

- Como primeiro critério, tentou-se colocar na camada interna as amostras que tiveram bons desempenhos nos testes de capilaridade horizontal, por exemplo, as amostras 6 e 7, para serem os elementos mais ativos no transporte de humidade, como pode ser observado nos dispositivos II e IV;

- Em seguida, foram separadas amostras das quais se dispunha de maior quantidade, uma vez que precisaríamos de muitos resíduos para a construção dos diversos dispositivos;
- Finalmente, foram feitos outros dispositivos com os resíduos restantes, sempre variando as camadas, com exceção dos dispositivos IV, que foi construído com 3 camadas da amostra VII, pois este se mostrava o mais promissor, com base na capilaridade horizontal das amostras.

Com relação à quantidade de camadas nos dispositivos, não havia uma referência inicial sobre esta quantidade, pois não sabíamos, naquele momento, como se comportariam os dispositivos no solo. Assim, à semelhança de outros dispositivos industriais utilizados para irrigação subterrânea, como os citados no Capítulo 2, que possuem entre 2 e 3 camadas, optou-se por construir os dispositivos com 3 camadas.

4.8 Construção de canteiros experimentais

Posteriormente aos testes com os resíduos têxteis, foi construído um laboratório experimental de campo, com diversos canteiros, para analisar o desempenho de diferentes técnicas de irrigação subterrânea por capilaridade. As investigações desenvolvidas no local foram auxiliadas por dois estudantes voluntários dos cursos de Física e Geografia da Universidade Federal do Piauí – Universidade Aberta.

O laboratório experimental foi construído em um terreno onde já se cultivavam diversas hortaliças pelo método tradicional na região, com os canteiros 1 e 2 construídos diretamente sobre o solo e que receberam irrigação por microaspersão e por gotejamento, respectivamente. A microaspersão não é adequada para o ambiente semiárido, pois a elevada temperatura contribui para uma elevada taxa de evaporação da água utilizada na irrigação. Já a irrigação por gotejamento é mais adequada para a região, no entanto, podem ocorrer entupimentos devido à utilização de água não filtrada.

Todos os outros canteiros (3A, 3B, 3C, 3D, 4, 5, 6, 7 e 8), receberam diferentes resíduos têxteis, distribuído de diversas formas.

Como não havia referência sobre o tipo e quantidade de resíduos têxteis que deveriam ser utilizados para a irrigação por capilaridade no semiárido, resolveu-se construir este laboratório de campo com várias opções de canteiros que permitissem testar diferentes situações de irrigação, com diferentes quantidades e disposição dos resíduos e, também, diferentes culturas de hortaliças e outras comuns no semiárido, como palma e mandioca.

Como representado na Figura 58, para os canteiros 3, 4 e 5 foram utilizadas caixas de água de 150 litros para abastecer pequenas caixas de água de alvenaria, construídas ao nível do solo. Dessa forma, cada um destes canteiros possuía a sua própria pequena caixa de água. Estas pequenas caixas de água possuíam boias de controlo com vasos comunicantes, que forneciam água automaticamente para os canteiros somente conforme a necessidade de molhagem.

A Figura 58 é uma representação gráfica do laboratório experimental e a Tabela 22 resume os tipos de canteiros, os resíduos têxteis e as técnicas de irrigação utilizadas, que serão descritas detalhadamente nos pontos a seguir.

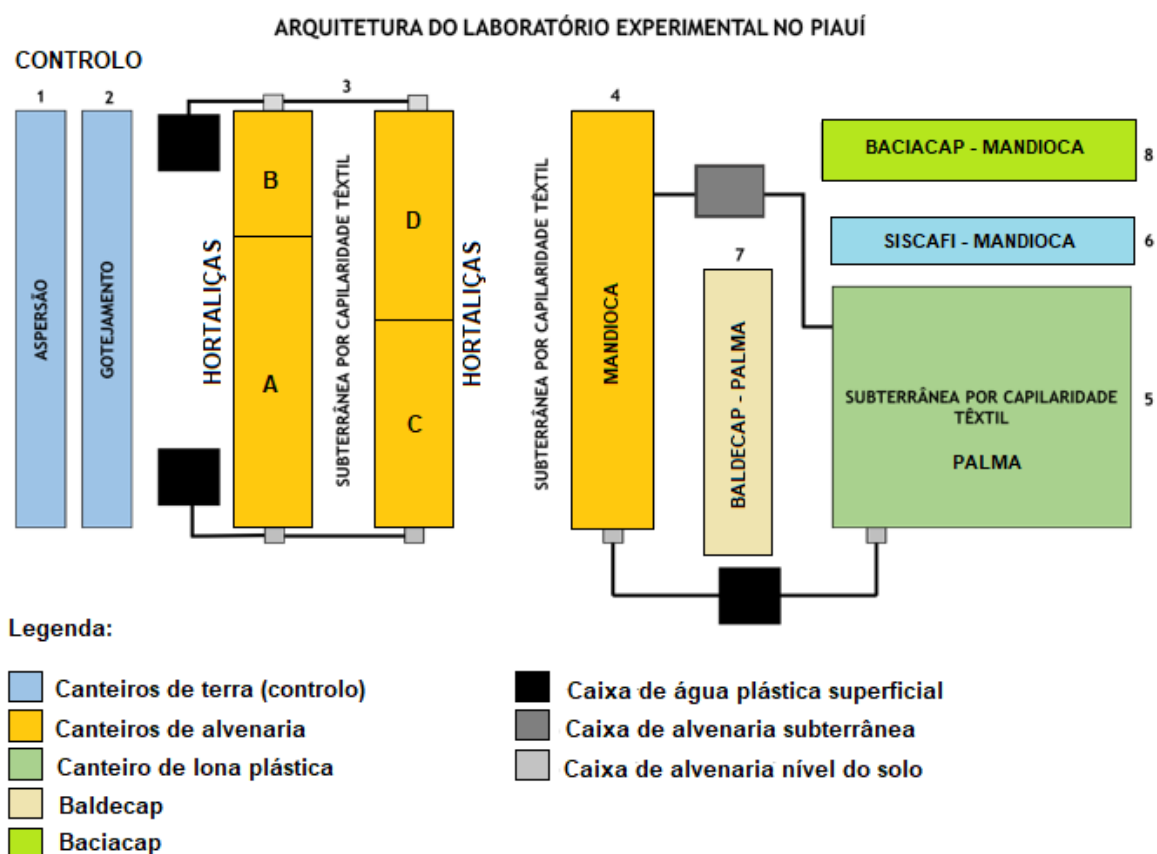


Figura 58 – Representação gráfica do laboratório experimental localizado no Piauí.

Com base em experiências anteriores, onde o plantio de tomate em um canteiro de alvenaria foi perdido devido ao encharcamento do solo em decorrência de uma forte chuva inesperada, estes canteiros possuem um sistema de escoamento. As suas canalizações foram conectadas a um outro reservatório de água, impedindo o alagamento da cultura. A água captada por este reservatório também era reutilizada para encher os depósitos de água utilizados na rega dos canteiros.

Tabela 22 – Visão geral dos canteiros do laboratório experimental no Piauí.

	Canteiro	Tipo de canteiro	Tipo de irrigação	Dispositivo utilizado para irrigação		Plantio
Canteiros de controlo	1	Canteiro de terra (sem alvenaria)	Microaspersão	Mangueira microperfurada, marca Santeno™, tipo PRO.		Coentro, alface, salsa, rúcula e couve-flor
	2		Gotejamento	Mangueira de gotejamento, com espaçamento de 30cm		Coentro, alface, salsa, rúcula e couve-flor
Canteiros com irrigação por capilaridade têxtil	3	Canteiro de alvenaria	Subterrânea por capilaridade têxtil	A	Dispositivos IV, V, VI e VII	Coentro, alface, salsa, rúcula e couve-flor
				B	Mangueira de exsudação + dispositivo II	Tomate e alface
				C	Mangueira perfurada e revestida com amostra 3	Coentro, alface, salsa, rúcula e couve-flor
				D	Brita + dispositivo III	Coentro, alface, salsa, rúcula e couve-flor
	4			Dispositivo III		Mandioca
	5	Canteiro de lona plástica dupla-face	Subterrânea por capilaridade Têxtil	Pedaços das diferentes amostras 1, 2 e 3, 6 e 7		Palma
	6	Canteiro de terra	SISCAFI	Garrafa PET + fitas compostas das amostras 1, 2 e 3		Mandioca
	7	Baldecap 1	Rega manual com manutenção da humidade por capilaridade têxtil	Estrutura do baldecap Amostrs 1, 2 e 3		Palma
8	Baciacap	Estrutura do baciacap Amostra 7		Mandioca		

A seguir são detalhados cada um dos canteiros.

4.8.1 Canteiros de controlo (1 e 2)

Para poder comparar o crescimento e desenvolvimento das culturas nos canteiros, utilizando as técnicas de irrigação têxtil subterrânea por capilaridade, foram construídos dois canteiros de controlo diretamente no solo, irrigados superficialmente por microaspersão (canteiro 1) e gotejamento (canteiro 2).

Os canteiros 1 e 2 foram abastecidos com uma caixa de água de 300 litros, que fornecia água pela abertura de uma válvula de controlo 2 vezes por dia (05h00 e 17h00). Neste caso, o consumo de água era controlado por um hidrómetro. Como os canteiros 1 e 2 são feitos no

solo, não foi preciso a construção de um sistema de escoamento, visto que o próprio solo ao redor do canteiro absorve o excedente de água e também há infiltração para o subsolo.

O canteiro 1 foi irrigado por microaspersão, utilizando-se uma mangueira de polietileno comercial. Esta mangueira possui orifícios perfurados a laser a cada 15 cm, para garantir a uniformidade da irrigação. Já o canteiro 2 foi irrigado por gotejamento, utilizando também uma mangueira de polietileno e com gotejadores colocados a cada 30 cm.

Em ambos os canteiros, as mangueiras foram colocadas no meio, conforme representação gráfica da Figura 59 e detalhe da construção na Figura 60.

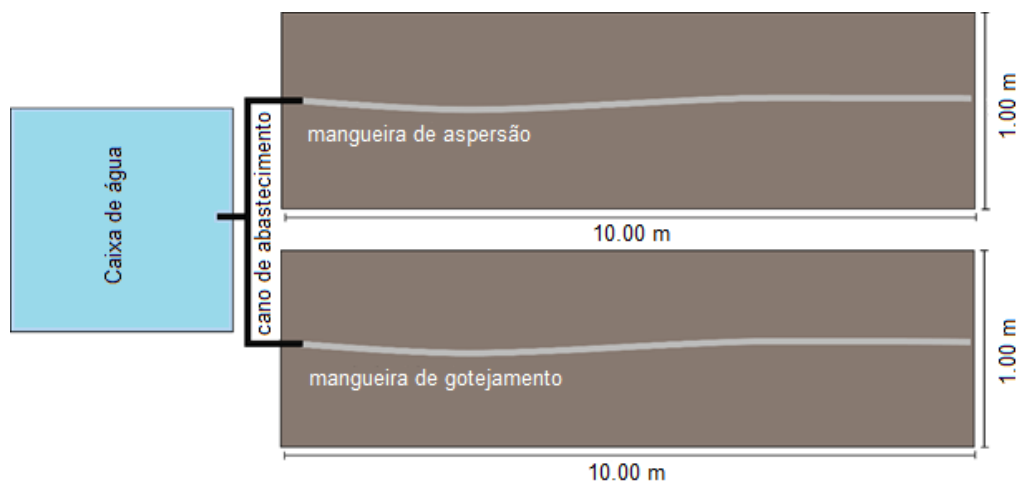


Figura 59 – Representação gráfica e dimensões dos canteiros 1 e 2.



Figura 60 – Canteiros de controle 1 e 2.

4.8.2 Canteiros com irrigação têxtil por capilaridade

Canteiros de alvenaria foram idealizados para estudar o desempenho da irrigação subterrânea por capilaridade, impermeabilizando o solo e utilizando hortaliças em um ambiente semiárido, a princípio impróprio para este tipo de cultura, que necessita de

bastante água. O experimento foi realizado em um terreno onde já se cultivava diversas hortaliças, em um método tradicional, com irrigação manual e com o uso de regadores e irrigação por microaspersão, completamente inadequada para o ambiente, devido às altas temperaturas e grande taxa de evaporação. Foram idealizados canteiros económicos (impermeabilizados) construído de alvenaria e irrigados pelos novos métodos propostos, de forma subterrânea e por capilaridade, como apresentados em seguida.

4.8.2.1 Canteiros 3 (3A, 3B, 3C e 3D)

Estes canteiros, de alvenaria, considerados canteiros económicos pelo fato de serem impermeabilizados do solo, provocando uma redução do consumo de água, foram idealizados para estudar o desempenho da irrigação têxtil subterrânea por capilaridade.

Um conjunto de dois canteiros foi construído para testes com plantio de coentro, alface, salsa, rúcula, tomate cereja e couve-flor. Essas hortaliças foram selecionadas por não serem cultivadas na região, em virtude das condições climáticas do local e do solo, quer para verificar a viabilidade do experimento, quer para suprir as necessidades alimentares da população local.

Cada um dos dois canteiros foi dividido em duas partes, com experimentos de diferentes plantios. A Figura 61 apresenta as dimensões e a representação gráfica dos canteiros 3, cada um deles com largura interna útil de 1,00 m. Na Figura 62(a) são mostrados os canteiros em construção e na Figura 62(b) os mesmos prontos para o plantio.

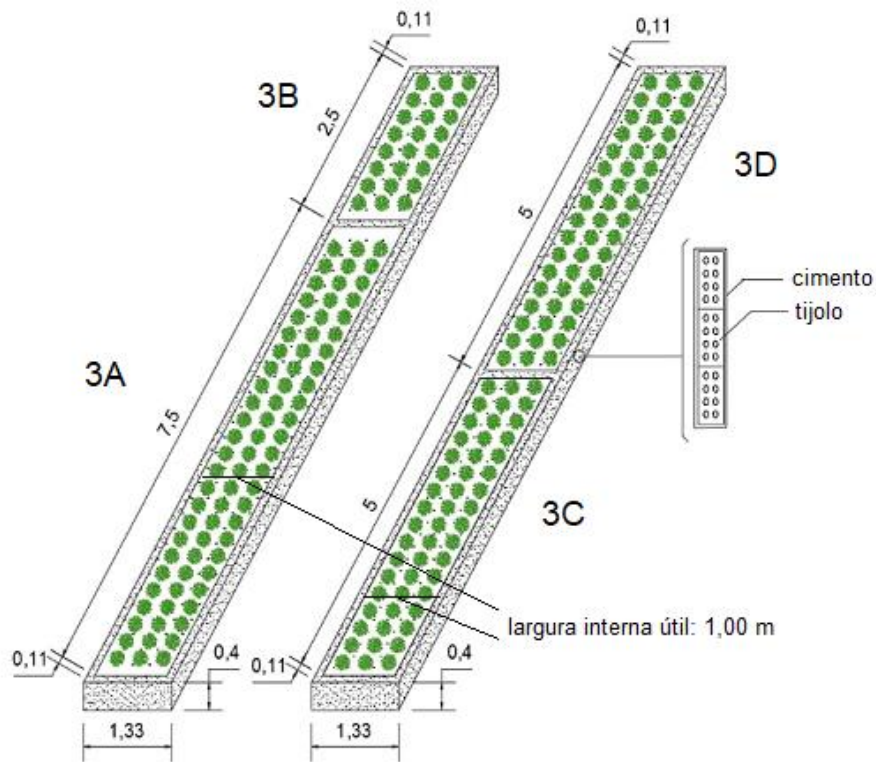
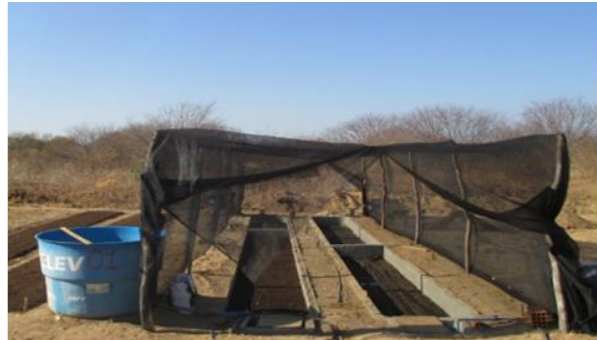


Figura 61 – Representação gráfica dos canteiros 3 (A, B, C e D).



(a)



(b)

Figura 62 – Canteiros 3 (A, B, C e D).

A tecnologia utilizada nesses canteiros apresenta um sistema inteligente de irrigação subterrânea que se prevê que, através do material têxtil, conduza uma quantidade maior de água às raízes da planta por capilaridade, mesmo quando o solo superior se apresentar ressecado. À medida que a humidade do solo atinge um índice satisfatório de humidade e estabiliza, devido à absorção pela planta, prevê-se que o material têxtil controle automaticamente o transporte de água, abastecendo as raízes da planta com a quantidade de água que elas mesmas solicitam.

4.8.2.1.1 Canteiro 3A

O canteiro 3A utiliza quatro canos de PVC dispostos em um intervalo de 2 metros de distância entre cada um, os quais eram abastecidos por uma canalização ligada à caixa de água. Na lateral de cada um dos canos foram realizadas aberturas para que ocorresse a passagem de ramificações de pavios de resíduos têxteis de um lado para o outro. Neste caso, os pavios têxteis são feitos dos dispositivos IV, V, VI e VII, testados anteriormente, como descritos na Tabela 21.

O primeiro cano utilizou como pavio têxtil o dispositivo V, o segundo cano utilizou o dispositivo VII, o terceiro cano utilizou o dispositivo IV e o quarto cano utilizou o dispositivo VI, conforme representado na Figura 63. A Figura 64(a) apresenta uma visão geral do canteiro, enquanto na Figura 64(b) vê-se a posição de cada um dos canos PVC e dos pavios (dispositivos capilares).

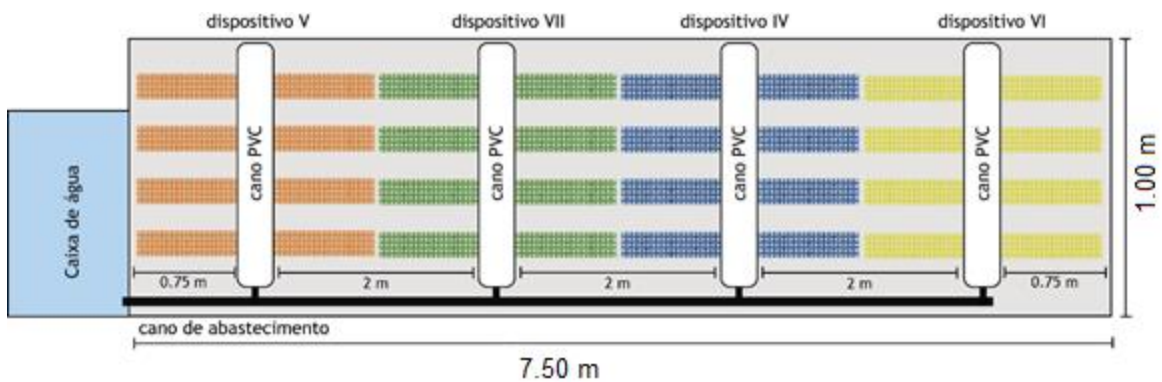


Figura 63 – Representação gráfica e dimensões do canteiro 3A.



(a)



(b)

Figura 64 – Construção do canteiro 3A.

Para garantir a fixação dos pavios têxteis, promovendo a manutenção da humidade no canteiro, foram colocadas britas dentro dos canos de PVC, que agem também como um filtro para a água.

Este canteiro foi disposto em 3 camadas: uma camada de 10 cm de solo arenoso, em seguida os canos de PVC com seus respectivos pavios têxteis e, finalmente, uma camada de 10 cm de solo arenoso misturado com esterco.

4.8.2.1.2 Canteiro 3B

Este canteiro combina técnicas de irrigação industrial e artesanal. O cano de abastecimento de água deste canteiro possui 25 mm de diâmetro e quatro saídas, com distâncias de 25 cm, as quais estão conectadas a uma mangueira de exsudação com 2.10 m de comprimento. A mangueira de exsudação utilizada foi a Poritex, comercialmente disponível, e utilizada na irrigação do semiárido da África, Israel e parte da Europa [118].

O dispositivo têxtil II foi utilizado em combinação com as mangueiras de exsudação. Este canteiro foi disposto em camadas, sendo: a) uma camada de 10 cm de solo arenoso; b) mangueiras de exsudação; c) dispositivo II (manta); d) por último, uma camada de 10 cm de solo arenoso misturado com esterco. A Figura 65 apresenta as dimensões e a representação gráfica do canteiro 3B. A Figura 66 mostra uma imagem real de sua construção, com mangueiras de exsudação, antes da colocação da manta têxtil.

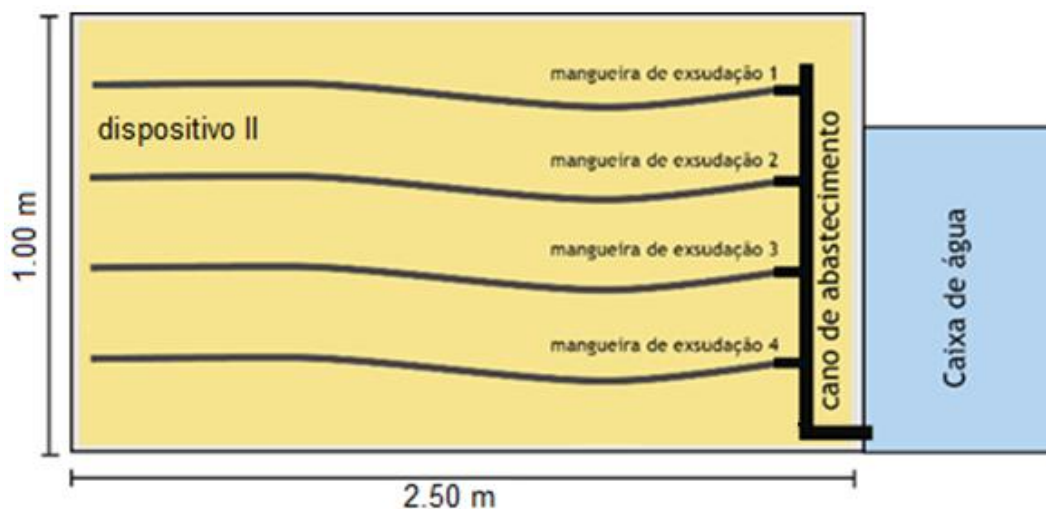


Figura 65 – Representação gráfica e dimensões do canteiro 3B.



Figura 66 – Construção do canteiro 3B.

4.8.2.1.3 Canteiro 3C

De modo semelhante ao canteiro 3B, o canteiro 3C também combina técnicas de irrigação industrial e artesanal. O cano de abastecimento de água deste canteiro possui 25 mm de diâmetro e cinco saídas, com distâncias aproximadas de 20 cm, as quais estão conectadas a mangueiras de gotejamento com 4.50 m de comprimento, como mostra a Figura 67.

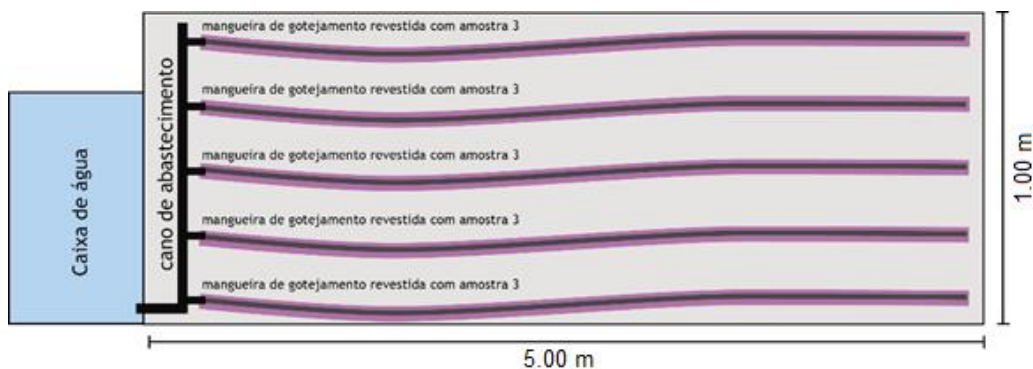


Figura 67 – Representação gráfica e dimensões do canteiro 3C.

Neste caso, as mangueiras plásticas de polietileno, utilizadas tradicionalmente em irrigação, com 16 mm de diâmetro, foram perfuradas a cada 30 cm e revestidas com uma capa de resíduos têxteis feita com a amostra 3. Esta capa de microfibras tem como objetivo impedir a entrada de terra e posterior obstrução dos orifícios da mangueira e, proporcionar um aumento da humidade do solo por meio da capilaridade.

O canteiro 3C também foi disposto em 3 camadas: uma camada de 10 cm de solo arenoso; as mangueiras de gotejamento revestidas com a amostra 3; e uma camada de 10 cm de solo arenoso misturado com esterco. A Figura 68 mostra um detalhe da construção deste canteiro, pronto para receber a mistura de solo e esterco para início do plantio.



Figura 68 – Canteiro 3C.

4.8.2.1.4 Canteiro 3D

O canteiro 3D foi abastecido por um tubo de PVC com 25 mm de diâmetro, que conectava um cano da caixa de água com o dispositivo III (foi escolhido porque estava disponível em maior quantidade), que ocupava toda a área do canteiro. Este dispositivo têxtil foi o único responsável pela irrigação uniforme do canteiro.

Este canteiro foi construído com as seguintes camadas: uma camada de 10 cm de brita e solo arenoso; dispositivo III; e uma camada de 10 cm de solo arenoso misturado com esterco. A Figura 69 apresenta as dimensões e a representação gráfica do canteiro 3D.

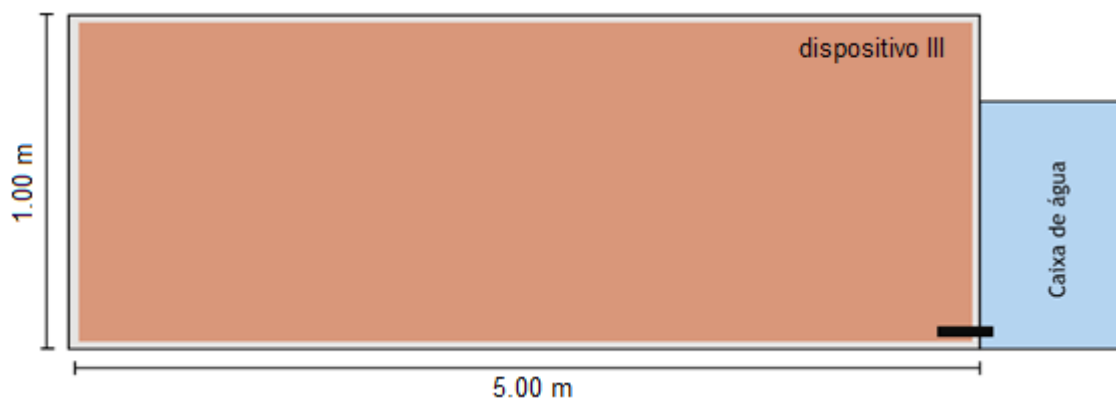


Figura 69 – Representação gráfica e dimensões do canteiro 3D.

A Figura 70 mostra um detalhe de sua construção, na fase de colocação dos resíduos têxteis, restando a cobertura final de terra antes de estar pronto para o plantio, enquanto que a Figura 71 mostra os 4 canteiros (3A, 3B, 3C e 3D) prontos.



Figura 70 – Canteiro 3D, em processo de construção.

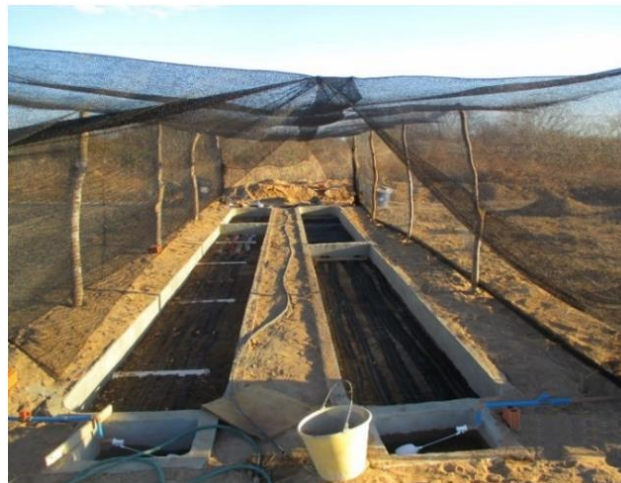


Figura 71 – Canteiros 3 (A, B, C e D) prontos para o plantio.

4.8.2.2 Canteiro 4

O canteiro 4 também foi construído com alvenaria e foi composto das seguintes camadas: uma camada de 10 cm de brita e solo arenoso; em seguida, o dispositivo III, totalizando 33 m² de resíduos têxteis; e, finalmente, uma camada de 10 cm de solo arenoso misturado com esterco. A Figura 72 apresenta as dimensões e a representação gráfica do canteiro 4.

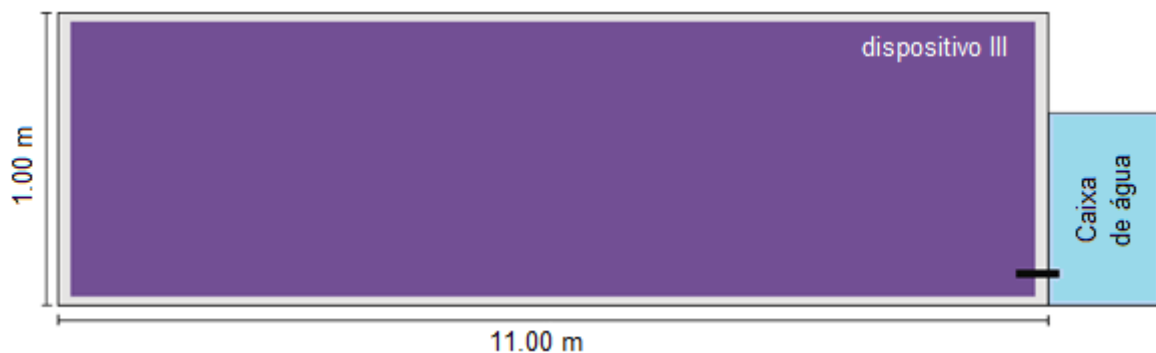


Figura 72 – Representação gráfica e dimensões do canteiro 4.

4.8.2.3 Canteiro 5

O canteiro 5 foi construído por meio de um buraco cavado no solo e revestido com uma lona dupla-face e com uma conexão com o reservatório de água por meio de um cano de 25 mm. Nesse canteiro, foram dispostas 6 camadas dos respectivos materiais: lona plástica dupla-face; uma camada de 5 cm de brita; uma camada de mistura de resíduos grandes de tecidos de microfibra 100% poliéster (amostras 1, 2 e 3); uma camada de mistura de resíduos de malha (amostras 6 e 7) dispostas aleatoriamente; uma camada de 10 cm de solo arenoso; e, finalmente, uma camada de 10 cm de solo arenoso misturado com esterco.

A Figura 73 apresenta as dimensões e a representação gráfica do canteiro 4. A Figura 74(a) mostra detalhes da colocação dos resíduos grandes para revestir o canteiro, enquanto que a Figura 74(b) mostra a aplicação dos resíduos de tecido.

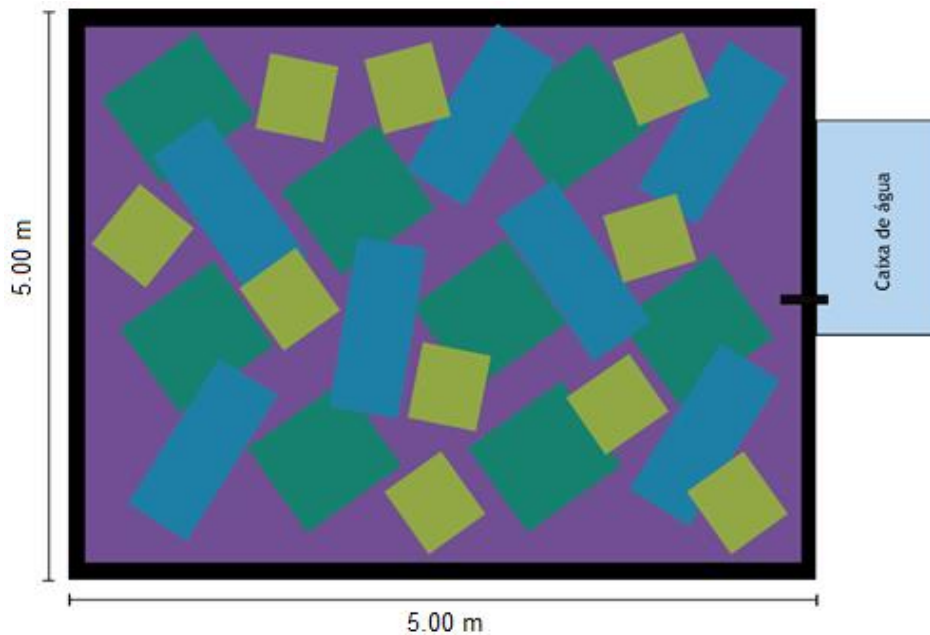


Figura 73 – Construção do canteiro para plantio da palma.



(a)



(b)

Figura 74 – Processo de construção do canteiro 5.

Este canteiro recebeu uma tubulação conectando-o aos outros canteiros, funcionando como um reservatório para os eventuais excessos de água devido às chuvas.

4.8.3 Canteiros e dispositivos alternativos

Para utilizar outros canteiros em alternativa aos de terra e de alvenaria, foram desenvolvidos dois novos conceitos: Sistema de Irrigação Subterrânea por Capilaridade para a Agricultura Familiar (SISCAFI) e o Baldecap 1.

Para além de serem um tipo de canteiro alternativo, estes novos conceitos também foram pensados para serem confeccionados por cooperativas de mulheres artesãs da área rural, envolvendo também as cooperativas de coletores de resíduos e materiais recicláveis. Tanto o SISCAFI quanto o Baldecap 1 poderão contribuir para a segurança hídrica da região, proporcionando o aumento da produção alimentar para consumo próprio e a comercialização de excedentes, oportunidades de trabalho na confecção das unidades de irrigação e na coleta de material reciclável, impulsionando a autonomia financeira das famílias rurais do semiárido nordestino.

4.8.3.1 Canteiro 6 – SISCAFI

Para além da imensa quantidade de resíduos têxteis no Nordeste brasileiro, o descarte de garrafas plásticas no meio ambiente, especialmente as de PET (Polietileno Tereftalato), é um problema de grandes dimensões. Apesar do Brasil apresentar um índice de reciclagem de PET de 51% em 2015 [119], foram produzidas cerca de 537.000 toneladas de produtos PET em 2015, ou seja, as outras 263.000 toneladas foram encaminhadas para lixões, aterros sanitários ou foram descartadas diretamente na natureza, impactando todo o meio ambiente. Além disso, grande parte das empresas recicladoras de PET encontram-se na região Sudeste e não no Nordeste brasileiro.

Pensando nesta problemática e inspirado em um projeto da Universidade de Washington, chamado Soda Bottle Wick Irrigation (SBWI) [120], foi criado o SISCAFI que é um sistema de irrigação composto por garrafas PET reutilizadas, enterradas em posição vertical invertida (ponta-cabeça), interconectadas por mangueira de irrigação com tiras de tecido colocadas entre a parte interna da garrafa e o solo a ser irrigado, formando pavios (Figura 75). Quando as garrafas são preenchidas com água, o pavio passa a transportar o líquido por efeito capilar, irrigando plantas ao nível das raízes. Esse sistema proporcionará grande absorção da água pela planta e reduzirá de forma significativa as perdas por evaporação.

Quando comparados os dois sistemas, a principal diferença entre o SBWI [120] e o SISCAFI é a posição da tubulação de irrigação, sendo o SISCAFI subterrâneo e o SBWI superficial, como mostrado nas Figuras 75 e 76, respectivamente. Dessa forma, o SISCAFI é abastecido pelo princípio dos vasos comunicantes, através de duas garrafas PET localizadas nas extremidades do sistema, que servem como reservatório de água. Já no SBWI, o abastecimento é feito através de uma mangueira conectada a um depósito de água convencional. Além disso, no sistema SBWI foi criado um “T” plástico específico para conectar a garrafa PET à tubulação de irrigação. Já no SISCAFI, para reduzir os custos do projeto, foram utilizados “T” plásticos convencionais (utilizados em encanamentos).

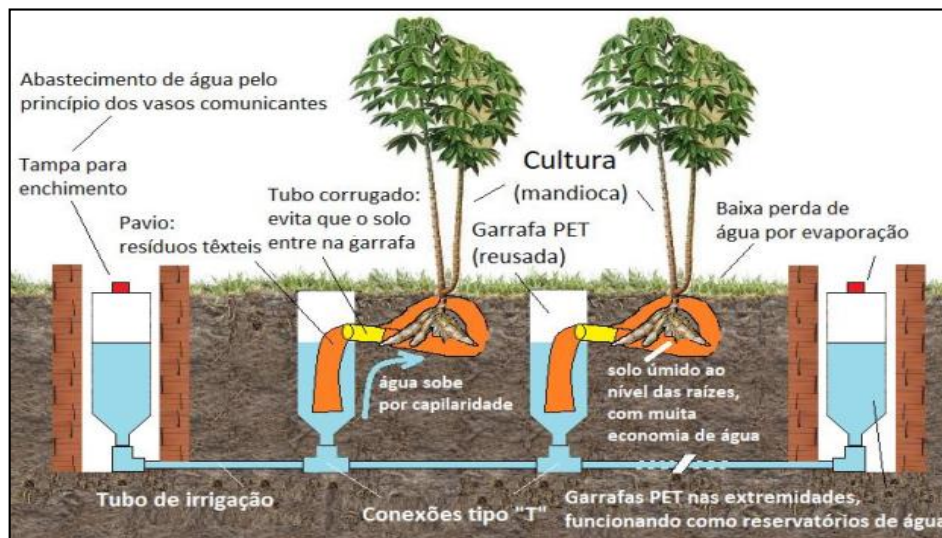


Figura 75 – Representação gráfica do SISCAFI.

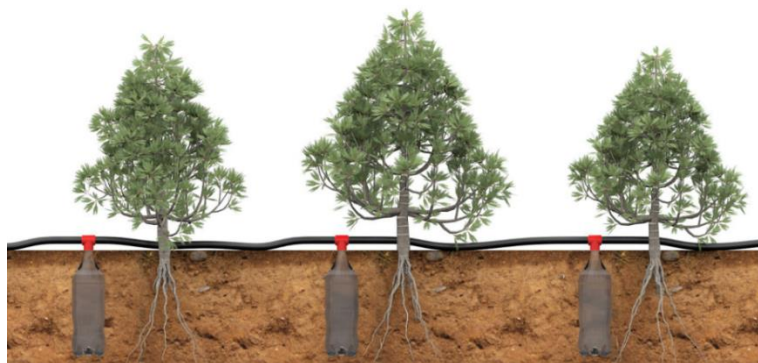


Figura 76 – Soda Bottle Wick Irrigation.
(Fonte: [120])

O canteiro 6 foi construído com 11 metros de comprimento por 1 metro de largura, em que o solo foi preparado com uma camada de solo arenoso com esterco. A canalização da água foi realizada por um cano de 25 mm, conectado a cinco garrafas PET reutilizadas, dispostas com o gargalo para baixo, e que possuíam uma abertura de onde saía um pavio formado pelas amostras 6 e 7. Além disso, como mostrado na Figura 77(a), em amarelo, foi necessário

utilizar um tubo corrugado na saída do pavio para evitar que o solo entrasse na garrafa PET. A Figura 77(b) apresenta o processo de construção e instalação do SISCAFI.

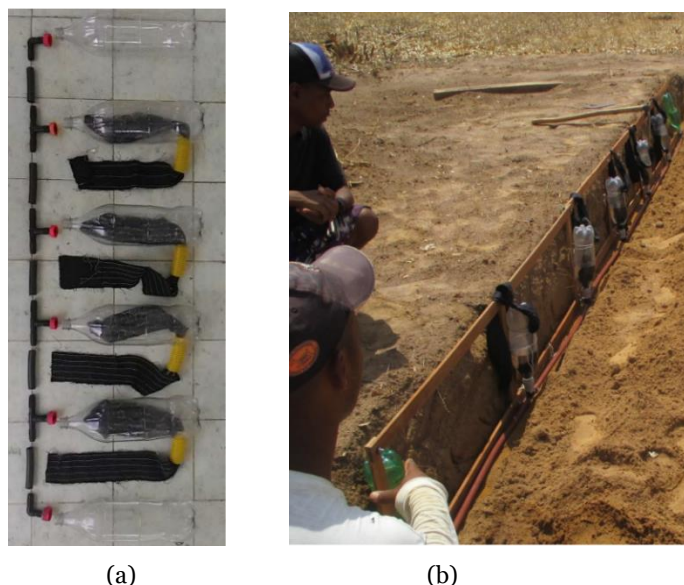


Figura 77 – Construção do SISCAFI.
(a) pronto a ser instalado; (b) sendo implanto no solo.

4.8.3.2 Canteiro 7 – Baldecap

Os baldes capilares (Baldecap) foram idealizados como alternativas ao SISCAFI e aos canteiros de alvenaria, uma vez que seriam de mais fácil construção, instalação e operação. A ideia é simples: enterrar baldes construídos com a técnica básica do ferrocimento³, com a diferença da superfície interna do balde ser revestida com resíduos têxteis, tornando-a capilar.

O Baldecap (Figura 78) foi construído utilizando moldes de baldes plásticos, construído da seguinte forma:

1. Revestir a parte externa do balde com resíduos de microfibras e malhas sintéticas variadas, dentre as amostras 1, 2, 3, 6 e 7, deixando sobras no bordo superior do balde para servirem como pavio capilar, como mostra a Figura 78; aplicar tela metálica hexagonal (tela de galinheiro) por cima dos resíduos têxteis que revestiram o balde, dando sustentação mecânica ao molde;
2. Preparar o cimento, misturando resíduos de pó de brita, cimento e água;
3. Revestir a tela metálica hexagonal com o cimento, até atingir uma espessura aproximada de 1,5 cm, como mostra a Figura 79;

³ Ferrocimento: tela de ferro com brita e cimento.

4. Aguardar 12 horas para secagem completa do ferrocimento, para depois desmoldar o balde, para evitar rachaduras durante o processo de desmoldagem;
5. Escavar o solo do tamanho necessário para enterrar o Baldecap, deixando aparente apenas a borda superior do Baldecap, aproximadamente 5 cm (ver Figura 80).



Figura 78 – Processo de fabrico do Baldecap – revestimento têxtil.

A Figura 79 apresenta um detalhe do processo do fabrico do Baldecap, onde se vê a tela metálica e a cobertura de cimento, numa técnica chamada de ferrocimento. O balde plástico é utilizado apenas como forma para o processo.



Figura 79 – Processo de fabrico do Baldecap: tela metálica e cobertura de cimento.

Em seguida, o agricultor pode proceder com o plantio da cultura no solo dentro do balde, utilizando uma mistura de esterco e terra proveniente do solo arenoso local, sem fazer uso de quaisquer tipos de fertilizantes. No caso do experimento realizado, foram plantadas mudas (entre viveiro e cultura) de palma forrageira (*Opuntia* sp), um cactus muito comum na região e que é muito usado para alimentação dos animais (Figura 80).

Como caracterizados laboratorialmente, os resíduos têxteis utilizados neste sistema permitem a manutenção da humidade do solo, por meio do transporte de água por capilaridade.



Figura 80 – Construção do canteiro 7.

4.8.3.3 Canteiro 8 – Baciacap

A Baciacap é um dispositivo que utiliza técnica idêntica ao Baldecap, onde os resíduos têxteis foram colocados para permitir a manutenção da humidade no solo colocado dentro deles, por capilaridade. Neste caso, foram utilizadas bacias com 60 cm de altura como moldes. Além disso, na Baciacap foram plantadas mudas (entre viveiro e cultura) de mandioca por estaquia. A Figura 81 apresenta o processo de construção do canteiro 8.



Figura 81 – Construção do canteiro 8, com a Baciacap.

4.8.4 Resultados

4.8.4.1 Consumo de água

Para a comparação do consumo de água entre os canteiros 1, 2 e 3, foram realizadas medições diárias do consumo. Considerando o clima semiárido da região onde foram construídos os canteiros experimentais, a temperatura habitual em setembro varia entre mínima de 20°C (noite) e máxima de 35°C (dia).

O consumo de água dos canteiros 1 e 2 foi controlado por um hidrômetro, já os consumos dos canteiros 3 (A, B, C e D) foram calculados em relação a altura da água dentro do depósito. Os valores apresentados na Tabela 23 referem-se ao consumo diário de cada canteiro, calculados com base em valores iniciais e finais que foram registados às 5:30 h e às 17 h, respectivamente.

Importa ressaltar que todos os canteiros tiveram uma rega superficial inicial antes de começar o registo dos consumos de água. A Tabela 23 apresenta os resultados comparativos para o consumo de água dos canteiros 1, 2 e 3, durante o período de 15 dias.

Observando a Tabela 23, é notório que os canteiros de controlo (1 e 2) consumiram bem mais água que os outros, uma média de 29,5 l/m², para o período de 15 dias. Este maior consumo deveu-se a dois principais fatores: a evaporação, devido às altas temperaturas durante o dia; e ao fato de não serem impermeabilizados, o que causou infiltração da água no solo, causando perdas e a impossibilidade de utilização desta água pelas raízes das plantas.

Tabela 23 – Consumo de água dos canteiros 1, 2 e 3 durante 15 dias.

Dias	Consumo (litros)					
	Canteiro 1	Canteiro 2	Canteiro 3			
			A	B	C	D
1	12.5	6.0	0.40	0.11	0.12	0.11
2	11.0	15.0	0.16	0.11	0.08	0.09
3	9.0	9.0	0.10	0.05	0.10	0.07
4	10.0	9.0	0.26	0.11	0.07	0.07
5	13.0	18.0	0.15	0.06	0.11	0.09
6	8.5	9.5	0.22	0.07	0.05	0.07
7	7.5	7.5	0.34	0.07	0.10	0.10
8	9.5	5.0	0.35	0.06	0.07	0.07
9	6.5	5.5	0.33	0.00	0.09	0.08
10	9.0	6.5	0.27	0.00	0.08	0.08
11	8.5	9.0	0.00	0.00	0.07	0.08
12	15.0	9.0	0.00	0.00	0.07	0.08
13	9.0	5.0	0.00	0.00	0.07	0.05
14	18.0	17.0	0.00	0.00	0.06	0.10
15	9.5	8.0	0.00	0.00	0.07	0.06
Volume total de água (l)	156.50	139.00	2.58	0.64	1.21	1.20
Área de terra plantada (m ²)	10.00	10.00	7.50	2.50	5.0	5.0
Consumo final (l/m ²)	15.65	13.90	0.34	0.26	0.24	0.24
Quantidade de resíduos têxteis (todas as camadas) (m ²)	-	-	9.0	7.5	2.5	15
Relação área de resíduos por área do canteiro	-	-	1.2	3.0	0.5	3.0

Por outro lado, observa-se que os canteiros 3 (A, B, C e D) tiveram uma média de somente 0,27 l/m², para os mesmos 15 dias.

4.8.4.2 Plantio de culturas nos canteiros 3 (3A a 3D)

Nos canteiros 3 (A, B, C e D), mostrados na Figura 82, foram plantados coentro, couve-flor, alface, rúcula e salsa, alface e tomate cereja, com colheitas que variavam entre 30 e 35 dias para o coentro e 45 a 55 dias para a alface, gerando um lucro mensal de aproximadamente R\$ 1.200,00 (€ 184,90, referência do câmbio de 23.09.2020) para o pequeno produtor. Valores estes significativos em uma região onde 59.5% da população não possui rendimento fixo ou tem como única fonte de rendimento os benefícios governamentais.



Figura 82 – Visão geral do plantio dos canteiros 3 (A, B, C e D).

4.8.4.2.1 Canteiro 3A

Neste canteiro específico foram plantados coentro, couve-flor, alface, rúcula e salsa, exibindo resultados satisfatórios. A Figura 83 apresenta o resultado da plantação de salsa.



Figura 83 – Resultados apresentados pelo canteiro 3A.

4.8.4.2.2 Canteiro 3B

Neste canteiro foram plantadas culturas de alface, coentro, tomate cereja, que se adaptaram de forma satisfatória com a forma de cultivo (Figura 84). Todavia, a ocorrência de uma inesperada e intensa chuva de verão, ocasionou o encharcamento do solo e a perda de parte da plantação. Em decorrência desse evento, percebeu-se a necessidade de construção de um reservatório com a finalidade de receber água escoada da chuva, o qual foi canalizado com os canteiros das mandiocas e das palmas, para reter e armazenar a água da chuva, a fim de evitar o encharcamento do solo e de reutilizá-la nas culturas. Após terem sido realizadas as melhorias necessárias, o modelo apresentou uma avaliação positiva, estando em utilização rotativa, sendo plantadas culturas de forma intercalada de pimentão e cebolinha.



Figura 84 – Resultados da plantação de tomate cereja no canteiro 3B.

4.8.4.2.3 Canteiro 3C

As culturas plantadas nesse canteiro apresentaram um bom desenvolvimento. No entanto, próximo ao período de colheita surgiu uma doença fúngica na rúcula, que prejudicou a plantação. A alface também foi plantada nesse canteiro, como também a salsa, que apresentou atraso no desenvolvimento ao ser comparada com as demais culturas, sendo necessário ser regada à mão no início da manhã, nos dois primeiros dias. O volume de água desta rega, cerca de 5 litros, não foi contabilizado na Tabela 23. Atualmente esse canteiro funciona com as mesmas culturas, sendo plantadas de forma intercalada (Figura 85).



Figura 85 – Resultados apresentados pelo Canteiro 3C para cultivo da alface.

4.8.4.2.4 Canteiro 3D

Neste canteiro, a salsa demorou a desenvolver-se, provocando uma necessidade de ser regada manualmente pela manhã, nos dois primeiros dias, com cerca de 5 litros, assim como ocorreu com o canteiro 3C. Atualmente, o sistema funciona perfeitamente, ocorrendo o plantio de culturas de forma intercalada (Figura 86).



Figura 86 – Resultados apresentados pelo Canteiro 3D para cultivo da salsa.

4.8.4.3 Plantio de culturas no canteiro 4

No canteiro 4 (Figura 87) foram plantadas seis mudas (entre viveiro e cultura) de mandioca, contudo, a última muda ficou prejudicada, não recebendo a mesma quantidade de águas das anteriores, provavelmente pelo maior comprimento do canteiro (11 m) e o facto da maior utilização de água pelas mudas do início do canteiro. Assim, foi o canteiro no qual a irrigação têxtil subterrânea por capilaridade não se mostrou tão efetiva no final do canteiro, além de terem ocorrido problemas com animais, que consumiam a última muda.



Figura 87 – Resultados do plantio da mandioca no Canteiro 4.

4.8.4.4 **Plantio de culturas no canteiro 5**

Neste canteiro foi plantado o cactus mais comum no semiárido, a palma forrageira (*Opuntia sp*), que se desenvolveu com muito vigor, conforme apresentado na Figura 88. A palma forrageira é muito importante para a alimentação dos animais, no semiárido. Devido ao grande período de seca recente (2011 – 2017), muitas plantações de palma se perderam. Assim, a irrigação subterrânea têxtil por capilaridade pode abrir novos caminhos para a cultura da palma, de forma intensiva, em pequenos espaços.



Figura 88 – Resultado do plantio de palma no canteiro 5.

4.8.4.5 **Plantio de culturas no canteiro 6 (SISCAFI)**

O SISCAFI (Figura 89) funcionou adequadamente, o que permite concluir que proporciona umidade ao nível das raízes para culturas do semiárido, estando a ser utilizado até aos dias atuais (setembro de 2020). Embora tenha funcionado adequadamente, os resultados de campo demonstraram que mesmo utilizando materiais facilmente encontrados no mercado, mesmo em pequenas cidades (garrafas PET reutilizadas, canos e conexões PVC, pedaços de tecido), não é de tão fácil construção como se supunha inicialmente. O principal desafio é a

realização de uma boa conexão das garrafas PET com os tubos PVC, local crítico onde pode acontecer vazamento e inviabilizar o sistema.



Figura 89 – Resultado do plantio de mandioca, no canteiro 6.

Por outro lado, caso seja construído e instalado adequadamente, funciona perfeitamente para manter a humidade ao nível das raízes, para uma linha de plantas que estejam ao mesmo nível (terreno plano). É um dispositivo que deve ser utilizado, portanto, para aplicação em terrenos planos. Tem a grande vantagem do processo de reabastecimento de água, que pode ser feito apenas por uma das extremidades da linha de garrafas interconectadas.

4.8.4.6 Plantios nos canteiros 7 e 8

O Baldecap e a Baciacap (Figura 90) apresentaram resultados satisfatórios para o crescimento da palma e da mandioca, respectivamente. Quando comparado os resultados obtidos nos canteiros 5 e 7, pode-se observar uma diferença significativa na quantidade de raquetes da palma: as plantadas no canteiro 5 apresentaram uma estatura maior que as do canteiro 7. Por outro lado, provavelmente devido à maior humidade do solo, devido à maior quantidade e distribuição de resíduos têxteis, as palmas do canteiro 7 não cresceram tanto em altura mas apresentaram um número elevado de raquetes. Como as raquetes servem de mudas (entre viveiro e cultura) para o pequeno produtor, este resultado é significativo para a possibilidade de crescimento da cultura e maior renda para o produtor.

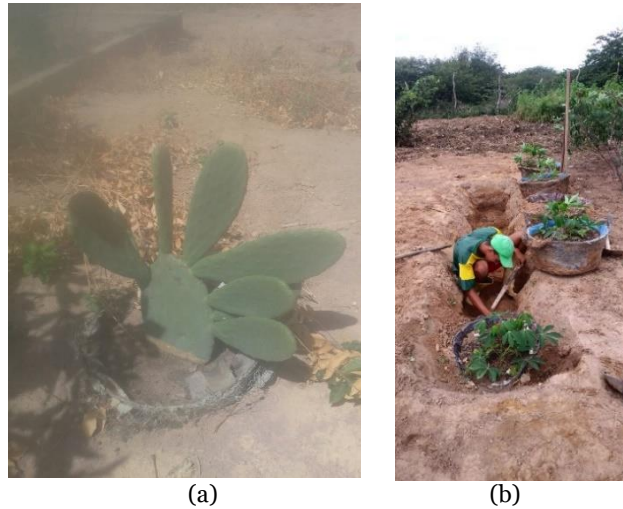


Figura 90 – Resultados do plantio no canteiro 8: (a) palma; (b) mandioca.

Mesmo após 48 meses de utilização do Baldecap e da Baciacap no Piauí, estes não apresentaram despigmentação ou degradação aparente (visível a olho nu), indicando, a princípio, que não estão contaminando o solo onde estão instalados (Figura 91).



Figura 91 – Ausência de despigmentação ou degradação dos resíduos têxteis.

4.8.4.7 **Resumo dos resultados dos experimentos no Piauí**

Os principais resultados obtidos nos experimentos realizados no laboratório de campo construído no Piauí foram:

- Com relação aos quatro canteiros 3 (A, B, C e D):
 - O consumo médio de água destes quatro canteiros ($1,4 \text{ l/m}^2$) foi o equivalente a 0,94% da média dos canteiros de controlo, o que é muito significativo em uma área tão afetada pela falta de água como o semiárido brasileiro. Este consumo muito baixo deu-se, provavelmente, por duas razões: a impermeabilização de alvenaria, e os resíduos têxteis capilares que foram colocados no solo, ao nível das raízes, mantendo-o húmido pelo fenómeno

da capilaridade, o suficiente para uma adequada absorção de água pelas raízes das plantas sem a necessidade de regas periódicas.

- O canteiro 3C obteve o melhor desempenho, uma vez que teve consumo de água similar aos outros (0,24 l/m²), mesmo com uma quantidade inferior de resíduos têxteis, com 2,5 m² de resíduos para um canteiro de 5,0 m² de área. Ou seja, foram colocados resíduos têxteis na proporção de metade da área do canteiro. Nos outros canteiros, esta relação foi bem maior, chegando a 3,0 nos canteiros 3B e 3D. Estes resultados confirmam que não é necessária uma quantidade avultada de resíduos têxteis para garantir a humidade, com o estudo indicando uma relação de área de resíduos têxteis correspondente a metade da área do canteiro, como colocado no canteiro 3C.
- A impermeabilização dos canteiros, que evitou a infiltração da água para o subsolo; e a manutenção da humidade ao nível das raízes, pelo efeito da capilaridade dos resíduos têxteis - aconteceram de forma combinada, o que resultou neste excelente desempenho dos canteiros 3 (A, B, C e D) no que diz respeito ao consumo de água.
- Considerando-se os aspectos construtivos (facilidade de construção e de manutenção), o canteiro 3C novamente destaca-se, pelo fato de ser muito fácil de construir. Nele, os dispositivos capilares foram construídos com mangueiras plásticas comerciais que possuem microfuros espaçados a intervalos regulares. Estas mangueiras foram revestidas com resíduos têxteis, que tiveram dupla função: impedir a entrada de terra nos microfuros, evitando entupimentos e, conseqüente, interrupção da irrigação; e proporcionar um aumento e melhor distribuição da humidade do solo, por meio da capilaridade.
- Com relação aos custos, como mostrado na Tabela 24, o canteiro 3C tem um custo estimado de € 1.19 por m², o segundo mais baixo. Os canteiros 3A e 3B foram mais caros, por utilizarem mangueiras exsudantes especiais e tubos e conexões em PVC.

Tabela 24 – Custos de canteiros 3A a 3D, para uma área padrão de 10 m².

Item	Descrição	Unid.	Quant.	Valor unit. (R\$)	Valor total (R\$)	Valor total (€)**
Canteiro 3A (área corrigida para 10 m ²)						
1	Tubo PVC, 100 mm	m	3.2	6.50	20.80	3.23
2	Tubo PVC. 32 mm	m	7.0	3.80	26.60	4.14
3	Conexão PVC "T", 32 mm	ud.	3.0	2.00	6.00	0.93
4	Conexão PVC "Joelho", 32 mm	ud.	1.0	1.10	1.10	0.17
5	Lona plástica* (200 micras)	m ²	11.0	4.00	44.00	6.84
TOTAL (para um canteiro de 10 m ²)						15.31
Custo por m ²						1.53
Canteiro 3B (área corrigida para 10 m ²)						
1	Mangueira porosa 1/2"	m	38.0	4.00	152.00	23.63
2	Conexão PVC "T", 20 mm	ud.	3.0	1.00	3.00	0.47
3	Conexão PVC "Joelho", 20 mm	ud.	2.0	0.50	1.00	0.16
4	Tubo PVC, 20 mm	m	1.0	2.50	2.50	0.39
5	Lona plástica* (200 micras)	m ²	11.0	4.00	44.00	6.84
TOTAL (para um canteiro de 10 m ²)						31.49
Custo por m ²						3.15
Canteiro 3C (área corrigida para 10 m ²)						
1	Mangueira plástica, 16 mm	m	50.0	0.50	25.00	3.89
2	Conexão PVC "T", 20 mm	ud.	4.0	1.00	4.00	0.62
3	Conexão PVC "Joelho", 20 mm	ud.	2.0	0.50	1.00	0.16
4	Tubo PVC, 20 mm	m	1.0	2.50	2.50	0.39
5	Lona plástica* (200 micras)	m ²	11.0	4.00	44.00	6.84
TOTAL (para um canteiro de 10 m ²)						11.90
Custo por m ²						1.19
Canteiro 3D (área corrigida para 10 m ²)						
1	Lona plástica* (200 micras)	m ²	11.0	4.00	44.00	6.84
TOTAL (para um canteiro de 10 m ²)						6.84
Custo por m ²						0.68

(*) Opção mais barata para impermeabilização; (**) Cotação base 17.08.2020: 1 € = R\$ 6,43.

É importante ressaltar que a Tabela 24 foi construída considerando-se uma situação onde o agricultor necessitasse replicar o canteiro, mas com a diferença de utilizar uma lona plástica - mais barata – ao invés da alvenaria. Esta técnica de impermeabilização com lona plástica já é conhecida dos agricultores familiares, que a utilizam nos chamados canteiros económicos da Embrapa [121]. Assim, o canteiro 3C mostra-se, também, como uma excelente alternativa, em termos de custos.

- Com relação ao canteiro 4:
 - Este canteiro é semelhante ao 3D, com a diferença de que foi testada a mandioca. Assim, pode-se considerar que esta cultura poderia ser plantada no canteiro 3C, que obteve os melhores resultados.

- Com relação aos dispositivos/canteiros alternativos 5 a 8:
 - Estes canteiros foram construídos para que se pudesse testar outras alternativas aos canteiros de alvenaria. Nestes, os consumos de água não foram monitorados, obtendo-se resultados qualitativos significativos, como o crescimento e vigor das culturas. Embora os dispositivos desenvolvidos e utilizados nestes canteiros também comprovaram o bom desempenho da irrigação têxtil por capilaridade, mostraram-se um pouco mais difíceis de serem construídos, funcionando melhor como alternativas para culturas em muito pequena escala, para consumo pela própria família.

Com base em todos estes resultados, pode-se afirmar que, em canteiros impermeabilizados como os que foram construídos neste laboratório experimental no Piauí, com os mesmos dispositivos capilares e nas mesmas condições climáticas, de solo e de culturas, é necessária apenas a colocação de resíduos têxteis que cubram uma área de cerca de metade da área do canteiro, o que garantirá a manutenção da humidade do solo, com muito baixo consumo de água.

Observou-se, durante o experimento, o efeito da distribuição uniforme de humidade em todos os canteiros. Este efeito foi conseguido, provavelmente, pela ação fundamental dos resíduos têxteis, daí a importância desta solução, de baixo custo, que pode ser muito efetiva para as culturas da agricultura familiar no semiárido.

Portanto, considerando-se de forma global, os aspectos construtivos, de impermeabilização e de uso de resíduos têxteis, os resultados do presente estudo permitem recomendar, como uma de suas contribuições, a seguinte metodologia para replicação dos canteiros construídos:

- Construir o novo CANTEIRO ECONÓMICO CAPILAR, como mostrado na Figura 92, baseado em irrigação têxtil por capilaridade, mas com impermeabilização semelhante à do canteiro económico da Embrapa [121]. A diferença é que este novo canteiro utiliza resíduos têxteis para distribuir a humidade em toda a área, ao invés

de tubo PVC e telhas de proteção do tubo. Assim como foi feito no canteiro 3C testado no laboratório experimental, esta solução também oferece melhor proteção às mangueiras subterrâneas, reduzindo o risco de entupimento.

Proposta de Canteiro Económico Capilar

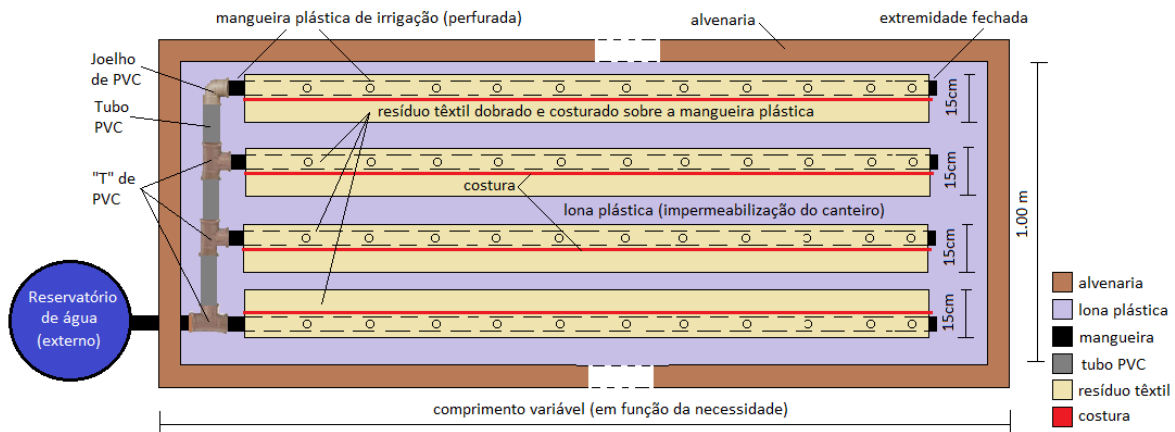


Figura 92 – Canteiro económico capilar.

- Para promover a irrigação têxtil por capilaridade, utilizar mangueiras plásticas de irrigação com furos a cada 30 cm, recobertas com, pelo menos, 30 cm de resíduos têxteis sintéticos costurados sobre a mangueira, na forma de fita de 15 cm de largura.
- Utilizar resíduos têxteis sintéticos semelhantes às amostras 1, 2, 3, 6 e 7, ou seja, tecido microfibras 100% poliéster (amostras 1 a 3) ou malhas de poliamida e elastano (amostras 6 e 7).

4.9 Oficinas pedagógicas em comunidades no semiárido

Além dos sistemas implantados no laboratório experimental em São Raimundo Nonato (PI), descritos nos pontos anteriores, também foram desenvolvidas outras atividades utilizando as técnicas de irrigação por capilaridade, em diferentes estados nordestinos, com os seguintes objetivos pedagógicos e sociais:

- Realização de oficinas de difusão das tecnologias desenvolvidas na comunidade de Pereiros, no estado do Rio Grande do Norte, e no Vale do Pajeú, em Pernambuco. Os principais objetivos destas oficinas foram:
 - Disseminação do conceito de irrigação têxtil por capilaridade e das tecnologias sociais que podem ser desenvolvidas com base no fenômeno da capilaridade, praticamente desconhecido pela população.

- Promoção e valorização da mulher agricultora familiar, contribuindo para o empoderamento feminino, através do ensino de como construir um “quintal produtivo” baseado na irrigação têxtil por capilaridade, onde as mulheres podem ter as suas próprias hortaliças para consumo próprio e para venda do excedente, complementando o rendimento familiar.
 - Demonstrações de implantação de alguns dispositivos desenvolvidos (SISCAFI e vasos capilares) em localidades como Limoeiro, Brinco de Ouro, Pereiros e Três Irmãos (RN) e assentamentos do Movimento dos Sem-Terra (MST) em Lagoa Seca (PB).
- Realização de oficinas de difusão das tecnologias desenvolvidas em escolas da rede estadual da Paraíba. Os principais objetivos destas oficinas foram:
 - Contribuição para a conscientização sobre a importância do desenvolvimento sustentável, onde foram abordados os seguintes temas: reutilização do têxtil e do plástico; importância da economia de água; o despertar para uma alimentação saudável por meio de uma horta orgânica económica.
 - Demonstrações de implantação de alguns dispositivos desenvolvidos (SISCAFI e vasos capilares).

4.9.1 Quintal produtivo e área comunitária

No âmbito do projecto “Rede de Mulheres Produtoras do Pajeú”, na comunidade de Pereiros e no Vale do Pajeú, foi utilizado um dispositivo de irrigação subterrânea por capilaridade que, além de possibilitar a otimização do espaço produtivo de maneira significativa, ainda contribuiu para o empoderamento feminino, uma vez que os dispositivos são fáceis de serem construídos pelas mulheres, até mesmo com a ajuda das crianças e jovens das comunidades.

Neste caso foram construídos vasos utilizando resíduos da indústria têxtil, brita e garrafas PET encontradas no lixo ou compradas em cooperativas femininas de reciclagem.

Um dos vasos capilares, mostrado na Figura 93, foi feito da seguinte maneira:

1. Inicialmente, cortar o terço superior de uma garrafa PET de 2 litros;
2. Cortar 4 tiras das amostra 1, 2, 3, 6 e 7 ou de outros resíduos têxteis sintéticos, de aproximadamente 2 cm de largura por 30 cm de comprimento, para servirem de pavios capilares, totalizando uma área de 240 cm²;

3. Fazer 4 furos no novo bordo da garrafa, afim de inserir os pavios têxteis;
4. Para ajudar na manutenção da humidade do solo, foram feitas mini-mantas em sanduíche, como mostradas na Figura 94, utilizando também resíduos da amostra 7;
5. Dispor no interior da garrafa PET as seguintes camadas: brita, mini-manta, mistura de terra preparada para canteiros/vasos;
6. Enterrar o novo dispositivo no solo ou utilizá-lo como um vaso capilar;
7. Proceder com o plantio das mudas (entre viveiro e cultura);
8. Após a colheita, este dispositivo pode ser reutilizado, mudando apenas a terra e plantando novas mudas.



Figura 93 – Processo de fabrico dos vasos capilares: inserção de pavios têxteis.



Figura 94 – Processo de fabrico dos vasos para o quintal produtivo.

O objetivo foi o de plantar hortaliças que requerem um grande volume de água para rega, como o alface e o cebolinho. O desenvolvimento de dispositivos como este, de baixo custo, baixa complexidade e que podem ser construídos pelas próprias famílias de agricultores, especialmente as mulheres, contribui para promover o empoderamento feminino. Também pode favorecer o desenvolvimento económico da região onde estas famílias moram, no semiárido brasileiro, uma vez que as mulheres podem cultivar hortas em pequenos espaços e com baixo consumo de água (Figura 95).



Figura 95 – Construção de canteiros para a promoção do empoderamento feminino.

4.9.2 Horta escolar

No contexto escolar, foi utilizada um dispositivo composto por garrafas PET descartadas, o Colar PET, funcionando como pequenos reservatórios húmidos logo abaixo do nível do solo, conectados, por meio de mangueiras plásticas finas, de diâmetro de cerca de 5 mm, a pequenos reservatórios enterrados sob o canteiro da horta escolar. Foram construídos com o aproveitamento da parte superior (funil) de garrafas PET encontradas no lixo (Figura 96).



Figura 96 – Montagem e execução da tecnologia de capilaridade no contexto escolar.

Esses reservatórios continham areia e um pavio de resíduo têxtil sintético na parte superior, de modo a promover a irrigação subterrânea por capilaridade, ao nível das raízes das plantas, assim como o SISCAFI. Trata-se de uma tecnologia social de baixo custo de fácil construção e manutenção, que utiliza este sistema que, embora simples, utiliza o conceito da irrigação subterrânea por capilaridade, praticamente desconhecido pelas comunidades onde os experimentos foram realizados.

O uso dessa tecnologia por alunos da Rede Estadual da Paraíba (Brasil) contribuiu para a economia de água para a irrigação das hortaliças plantadas na escola e permitiu uma maior compreensão acerca da importância do uso consciente de água, sobretudo em regiões semiáridas, onde há escassez de recursos hídricos e, muitas vezes, grandes desperdícios de água na agricultura.

Capítulo 5

5 Baldecap 2

5.1 Conceito

Além dos dispositivos idealizados para os testes capilares e descritos anteriormente, como os canteiros de alvenaria e SISCAFI, foi idealizado uma segunda versão do balde capilar, denominada Baldecap 2 (BC2), para que fosse possível realizar testes quantitativos mais controlados no que diz respeito às medições de crescimento das plantas e consumo de água, otimizando a aplicação dos resíduos têxteis.

O BC2 (Figura 97) surge de uma combinação de conceitos e aprimoramento das técnicas estudadas anteriormente, sendo um dispositivo para ser utilizado ao ar livre, de fácil construção, instalação e operação. A criação deste novo balde capilar permite a irrigação subterrânea por capilaridade e a aeração do solo utilizando baldes plásticos, garrafas PET e resíduos têxteis sintéticos. Para evitar o problema do encharcamento da terra, foram criados furos para a saída de água excedente, denominados “furos-ladrão”.

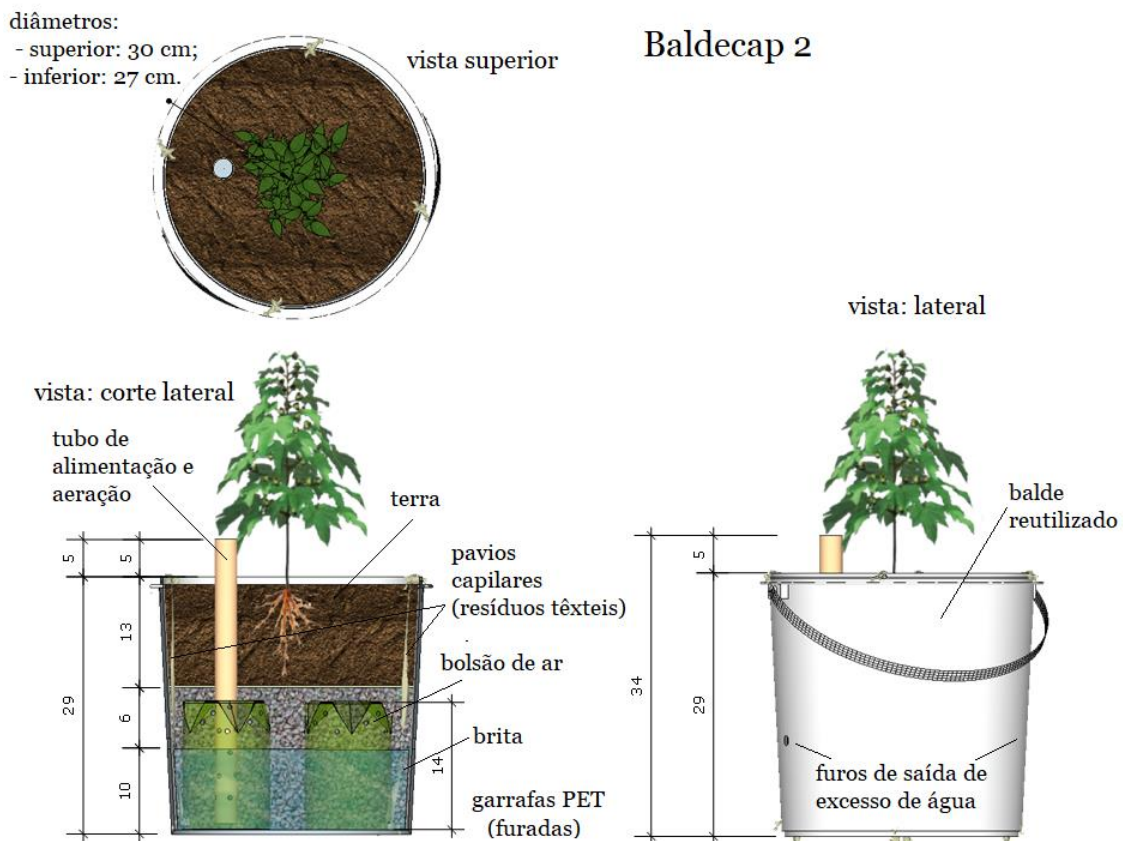


Figura 97 – Representação esquemática do Baldecap 2.

Mesmo tendo sido obtidos bons resultados nos dispositivos que utilizavam recipientes fechados (ex. canteiros de alvenaria e Baldecap), observou-se em alguns casos que a terra ficava compactada dentro do recipiente, atrasando o tempo de germinação das sementes por falta de oxigenação. Dessa forma, durante o processo de criação do BC2, foi idealizado um sistema de aeração da terra por meio da criação de bolsas de ar utilizando o espaço entre as garrafas PET e a brita, sendo colocado um tubo que serve tanto para entrada de oxigênio quanto para o reabastecimento de água do sistema.

No BC2, a utilização de pavios têxteis para a irrigação subterrânea por capilaridade permite uma economia de água, por manter o solo húmido por muito mais tempo que um vaso normal, sendo necessário somente reabastecer semanalmente o reservatório de água. Ainda, o processo de aeração da terra combinado com os níveis de humidade decorrentes da irrigação por capilaridade, aceleram a germinação e desenvolvimento das plantas.

5.2 Processo de construção do Baldecap 2

O processo de construção do BC2 está detalhado a seguir e, também, no Anexo I, que é uma cartilha para posterior distribuição pelas comunidades onde forem realizadas novas oficinas de construção de dispositivos para irrigação têxtil por capilaridade. Estas são as etapas:

- Recolha ou aquisição de baldes plásticos usados, de 15 a 18 litros, na loja de venda de recipientes plásticos usados. Normalmente, são baldes que foram usados originalmente para armazenamento de margarina vegetal. No caso dos experimentos descritos neste capítulo, foram adquiridos um total de 30 baldes, dos quais 26 foram preparados para os experimentos;
- Recolha ou aquisição de cerca de 100 garrafas PET de 2 litros, em cooperativa de catadores de lixo/material reciclável;
- Limpeza e lavagem interna dos baldes, para retirada de resíduos de margarina;
- Corte das garrafas PET, com xisato e tesoura, aproximadamente a meia altura, separando-as em duas partes;
- Lavagem interna dos pedaços de garrafas PET, para retirada de restos de refrigerantes;
- Corte de 8 pedaços de pavios capilares, de dimensões 40 cm x 5 cm, feitos com resíduos das amostras 6 e 7;
- Perfuração das bordas dos baldes para amarrar os pavios têxteis, com 8 furos de cerca de 6 mm, feitos com o ferro de solda. Optou-se pela utilização desta ferramenta simples e eficaz, normalmente utilizada por técnicos para conserto de placas eletrônicas, que pode ser perfeitamente utilizado para a perfuração de plástico, de maneira rápida. Além

disso, é uma ferramenta relativamente barata, cerca de R\$ 25,00 (equivalente a € 3.85, referência do câmbio de 23.09.2020) no mercado local;

- Perfuração dos 2 furos-ladrão, a uma altura de 10 cm do fundo, para evitar que a água do reservatório inferior molhe demais a terra de plantio;
- Perfuração das garrafas PET, com cerca de 10 pequenos furos de 5 mm de diâmetro, nas partes que ficarão para cima, dentro do balde; e 1 furo na parte que ficará para baixo, para amarração do pavio capilar;
- Colocação das garrafas PET no fundo do balde (4 a 5 garrafas) e amarração dos 8 pavios nos furos da borda do balde, mantendo-os esticados; a outra ponta do pavio deve ser amarrada na parte inferior da garrafa PET que foi colocada no interior do balde. Assim, os pavios ficam convenientemente esticados, sempre numa mesma posição vertical, facilitando o transporte de água do reservatório inferior para a terra, na parte superior.
- Corte e furação do cano de PVC, que tem dupla função: abastecimento de água e aeração da terra;
- Colocação da brita sobre as garrafas PET, em uma camada de cerca de 5 cm, preenchendo os espaços vazios entre as garrafas PET;
- Colocação da terra preparada (por exemplo, 50% areia grossa, 25% terra preta e 25% barro), completando o enchimento do balde.

Na Tabela 25 são apresentadas as partes que compõem uma unidade do Baldecap 2.

Tabela 25 – Partes constituintes do BC2.

Item	Descrição	Quant/unid	Total (R\$)	Observação
1	Balde plástico (15 ou 18 litros)	1 un	4.00	Pode ser reaproveitado do lixo ou reutilizado de recipientes plásticos usados (balde de margarina). Em último caso, pode ser comprado, a baixo custo.
2	Tubo PVC com 20 mm de diâmetro	40 cm	0.80	Pode ser reaproveitado do lixo, reutilizado ou comprado em lojas de materiais de construção.
3	Garrafas PET de 2L	5 un	0.60	Podem ser reaproveitadas do lixo, recolhidas ou compradas de cooperativa de catadores.
4	Pedaços de resíduos têxteis sintéticos (malhas)	8 pedaços de 40 cm x 3 cm	-	Doados por empresa de confecção de moda praia (Companhia do Corpo). Também podem ser reaproveitados do lixo.
5	Brita Nº 1 ou cacos de telhas	3 litros	-	Recolhida de entulhos de construção (reaproveitada do lixo).
6	Terra preparada (50% areia grossa, 25% terra preta, 25% barro)	7 litros	-	Não foi considerado o custo da terra preparada, porque deve ser providenciada pelo usuário do balde, com formulação para cada cultura específica.
TOTAL (R\$)			5,40	
TOTAL (€)*			0.83	

(*) Câmbio considerado: 1 € = R\$ 6,49 (referência do câmbio de 23.09.2020)

Com base nos valores apresentados na Tabela 25, o custo total para o desenvolvimento do BC2 é de cerca de R\$ 5,40 por unidade (aproximadamente € 0.83, referência do câmbio de 23.09.2020). Considerando as possibilidades de utilização do dispositivo para produção de mudas ((entre viveiro e cultura) e para o cultivo permanente de diversas espécies de forrageiras e leguminosas, resistentes ao clima e solo do semiárido, seu custo de produção é baixo, sendo acessível à população de baixo rendimento.

As Figuras 98 e 99 apresentam algumas das etapas do processo de construção do BC2. Na Figura 99(a) são apresentadas diversas etapas da construção; na Figura 99(b) pode-se ver os baldes com a brita colocada, faltando a colocação da terra; na Figura 99(c), os baldes estão prontos, com as sementes já plantadas e identificadas; finalmente, a Figura 99(d) apresenta outra vista das diversas etapas construtivas.



Figura 98 – Diversas fases da construção dos BC2.



Figura 99 – Etapas construtivas dos BC2.

5.3 Testes de desempenho de germinação no Baldecap 2

Para que fosse possível avaliar o desempenho do BC2, que também utiliza o princípio da irrigação têxtil por capilaridade, no entanto, de forma mais controlada, foi projectado um experimento com baldes de controlo e com baldes BC2 no plantio de sementes de culturas típicas do semiárido, comparando-se as germinações.

O balde de controlo foi o mesmo balde plástico do BC2, montado sem o princípio de irrigação capilar nem aeração e regado manualmente, utilizando-se um regador. Estes baldes comuns tiveram o seu fundo perfurado, para o escoamento da água excedente, simulando a infiltração da água no solo.

Para este estudo, foram utilizados 16 BC2 e 10 baldes comuns, comparando-se simultaneamente o processo de germinação de sementes e economia de água. Ambos os baldes usaram a mesma quantidade e preparo de terra (50% areia grossa, 25% terra preta, 25% barro), e foram plantadas as mesmas sementes, permitindo um comparativo de desempenho entre o novo método proposto e o método tradicional de plantio, sem irrigação por capilaridade.

Os testes foram realizados com as seguintes plantas:

- *Gossypium hirsutum* L., var *latifolium* Hutch - algodão anual (também chamado de algodão herbáceo);
- *Gossypium hirsutum* L., var *marie galante* Hutch - algodão arbóreo (também chamado de algodão mocó, no Nordeste);
- Algodão Colorido BRS 200 - melhoramento genético do algodão mocó, realizado pela Embrapa Algodão;
- *Zea mays* L - milho comum (semente amarela);
- *Zea mays* L - milho (semente vermelha);
- *Vigna unguiculata* (L.) Walp - feijão sempre verde (macassar);
- *Arachis hypogaea* L - amendoim;
- *Phaseolus lunatus* L - fava.

O experimento foi realizado no terraço de uma residência localizada no município de João Pessoa (PB), Brasil, no período de 20 de abril a 12 de maio de 2019. Todos os baldes foram posicionados em cima de um piso cerâmico e receberam a mesma quantidade de radiação solar.

Para que fosse possível avaliar a germinação de uma maior quantidade de amostras, optou-se por plantar sementes em mais de uma cova por balde. Assim, na maioria dos BC2 foram plantadas sementes em 5 covas.

A Figura 100 mostra a situação das plantas dentro dos BC2, apenas 15 dias de plantadas. Observa-se o grande crescimento das plantas, demonstrando, qualitativamente, que o método de irrigação subterrânea por pavios capilares feitos de resíduos têxteis, aliado à aeração da terra de baixo para cima, funcionou muito bem. A aeração foi viabilizada pelo tubo de PVC vertical, conectando o ar ambiente a bolsas de ar existentes dentro das garrafas PET, entre o reservatório de água inferior e as camadas de brita/terra preta.



Figura 100 – Culturas germinadas nos BC2, com apenas 15 dias do plantio.

Para que fosse possível comparar quantitativamente o desempenho dos BC2 e do método tradicional de plantio, foram coletados dados de crescimento das plantas em ambos os tipos de baldes que continham as mesmas culturas, plantados no mesmo dia e sob as mesmas condições ambientais (temperatura, humidade do ar, insolação).

A Tabela 26 apresenta uma visão geral do crescimento das plantas em todos os 26 baldes.

Tabela 26 – Alturas médias das plantas nos BC2.

Nº balde	Tipo do balde	Planta	Dias após o plantio			Média final (cm)	
			6º	15º	22º		
			Altura média das plantas no balde (cm)				
1	BC2	Algodão herbáceo	16	24	35	35.5	
2			16	25	36		
3		Algodão naturalmente colorido	19	25	37	40.0	
4			18	26	43		
5		Algodão mocó	10	16	25	24.5	
6			10	15	24		
7				16	27	44	45.0
8				14	27	46	
93	Balde comum de controlo	Amendoim	7	20	35	33.2	
10			1	17	29		
11			7	18	33		
12			10	22	33		
13			9	25	36		
14	BC2	Fava	24	27	40	40.0	
15				15	30	50	50.0
16				23	39	50	
17	Balde comum de controlo	Feijão macassar	1	15	22	33.5	
18			1	17	32		
19			22	36	40		
20			0	20	40		
21	BC2	Milho comum	20	38	55	53.3	
22			17	39	52		
23			17	35	53		
24	Balde comum de controlo	Milho comum	8	30	50	50.0	
25			Milho vermelho Milho vermelho	40	57	87	78.5
26		20		46	70		

Observa-se que todas as plantas nos BC2 cresceram bem mais do que no método tradicional. Dos 6 baldes BC2 com algodão, o destaque foi o algodão colorido, com crescimento médio de 40.0 cm após o 22º dia de plantio. Em seguida, veio o algodão herbáceo (média de 35.5 cm) e, finalmente, o algodão mocó (média 24.5 cm).

Dos 7 baldes com amendoim, 2 foram BC2 (média de 45.0 cm de crescimento) e os outros 5 foram plantados em baldes comuns, com média de 33.2 cm de crescimento. Observa-se, portanto, um excelente desempenho comparativo dos amendoins em BC2, com as plantas crescendo, em média, 35.5% a mais do que nos vasos comuns.

O feijão macassar foi plantado em 2 BC2 (média de 50 cm de crescimento) e 4 baldes comuns, com média de 33.5 cm. Mais uma vez, o desempenho foi muito superior nos BC2, sendo 49,3% maior do que os plantados nos baldes tradicionais. Na Figura 101(a) observa-se um exemplo de um dos BC2 com esta variedade de feijão, onde se vê o grande crescimento com 21-22 dias de plantados. Esta foi uma das culturas que se deu melhor com a técnica de irrigação têxtil por capilaridade, aliada à aeração.

As amostras de milho comum (amarelo) tiveram desempenho semelhante, quando comparadas as alturas médias nos BC2 e nos baldes comuns. Ainda assim, a altura média nos BC2 foi 6,6% maior. A cultura que mais cresceu foi o milho vermelho, semente crioula (não transgênica). Estas plantas, cujas sementes foram doadas para o experimento por agricultores familiares do Ceará, cresceram, em média, 78.5 cm, demonstrando, como as outras, uma excelente adaptação ao método de irrigação e aeração presentes nos BC2.

Na Figura 101 são mostrados exemplares de feijão macassar (Figura 101(a)) e fava (Figura 101(b)), grãos muito apreciados na Região Nordeste. Este último também cresceu rapidamente e se deu muito bem com este tipo de irrigação. Neste caso, não foi possível fazer a comparação com o balde comum devido ao fato de somente uma semente daquela variedade específica ter sido conseguida. De qualquer forma, esta espécie também teve um desempenho muito bom, conforme relatos de pessoas que conhecem a cultura e seu crescimento tradicional.



(a) Feijão macassar.

(b) Fava.

Figura 101 – Exemplos de culturas nos BC2.

A Figura 102(a) mostra o processo de medição das alturas alcançadas, realizado com régua plástica comuns. O critério foi a medição da altura máxima das folhas de uma determinada planta. Nos casos de várias plantas no mesmo balde, foi feita a média das maiores folhas de

cada uma das plantas. No caso do milho, as folhas foram esticadas manualmente, na vertical.

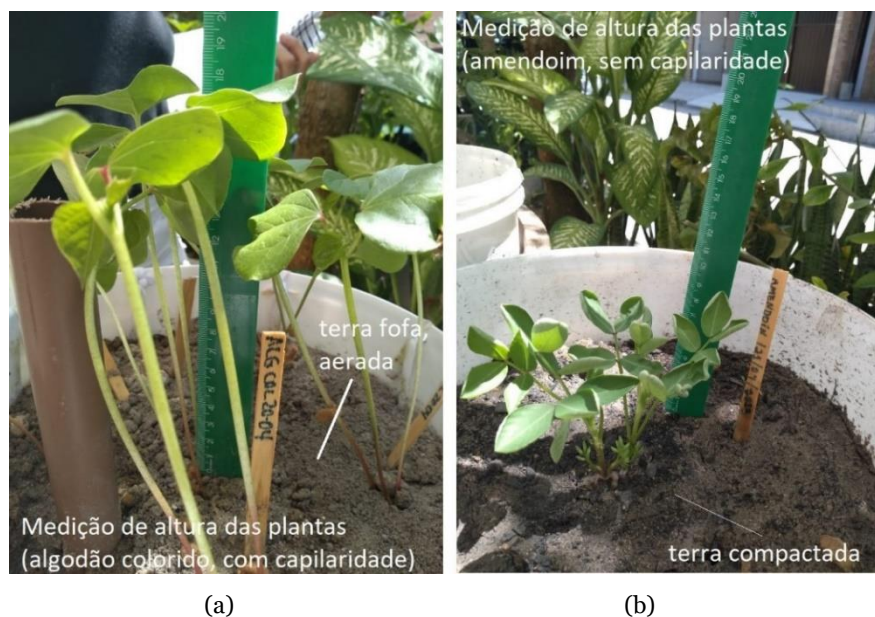


Figura 102 – Exemplos de crescimento das plantas e compactação do solo.

A água utilizada para irrigação dos baldes tradicionais também permitiu a molhagem da terra no momento do derramamento, no entanto, ao longo dos dias, observou-se que a terra estava ficando bem mais compacta que a terra dos BC2, provavelmente devido a, pelo menos, duas diferenças fundamentais:

- Os baldes comuns foram irrigados semanalmente, na superfície e de uma vez só, contribuindo para o indesejável processo de compactação da terra, enquanto que a irrigação do BC2 acontece de forma subterrânea e contínua, pelos pavios capilares têxteis esticados nas bordas internas dos baldes;
- A não existência, nos baldes comuns, de bolsas de ar inferiores para aeração do solo, bem como a rega superficial, contribuíram para a redução da quantidade de poros, aumentando a sua compactação.

Na Figura 102(b) observa-se também esta diferença evidente de compactação da terra.

Na Figura 103 estão representados, graficamente, os dados da Tabela 26. É possível observar as taxas de crescimento e as alturas finais de todas as plantas, que foram maiores quando semeadas nos BC2, em todos os casos comparados.

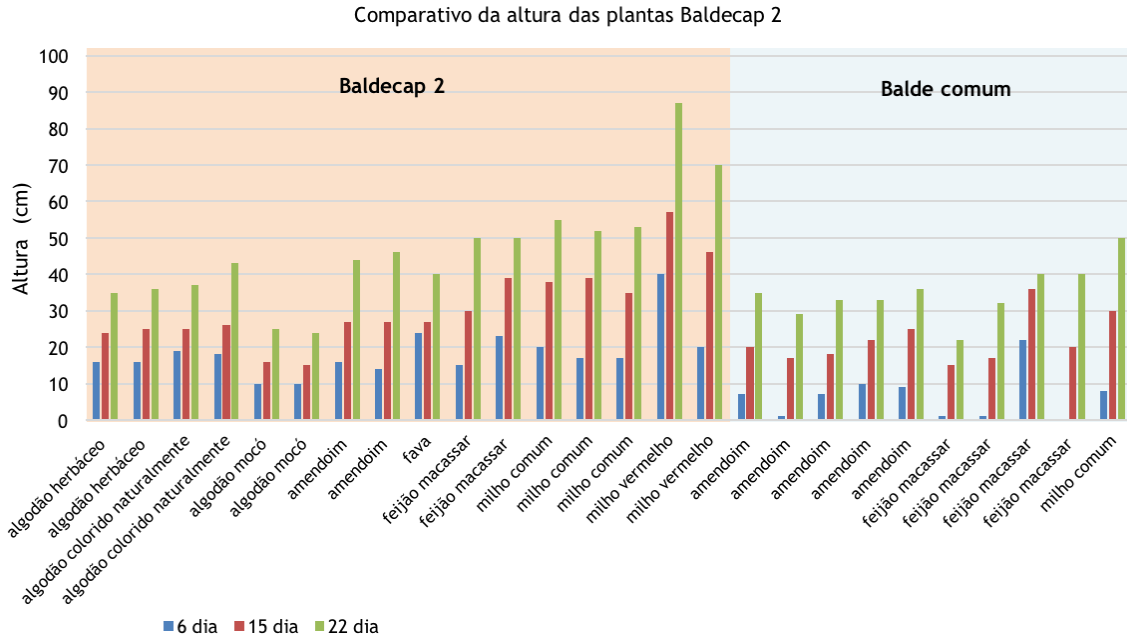


Figura 103 – Crescimento das plantas nos baldes BC2 e comuns (teste de germinação).

5.4 Irrigação e consumo de água do Baldecap 2

A irrigação dos BC2 e dos baldes comuns foi realizada semanalmente, sempre no mesmo dia em que foram realizadas as medições de altura das plantas, ou seja, no 6º, 15º e 22º dias após o início do experimento. Em ambos os tipos de baldes (BC2 e comum) a terra foi inicialmente preparada de modo a ficar já humedecida, para viabilizar o plantio e germinação das sementes.

Após o plantio das sementes na terra, no caso dos BC2, foi colocado um funil na boca do cano PVC e água complementar foi derramada lentamente, com uma garrafa PET graduada, de modo a ser possível anotar com precisão a quantidade de água derramada no reservatório interno inferior do balde. Este abastecimento foi repetido semanalmente, anotando-se a água consumida em cada balde, naquela semana.

Para definir a quantidade de água a ser colocada nos baldes comuns, foram feitas medidas preliminares de consumo diário nos BC2, durante a primeira semana de plantio, que indicaram um consumo médio de cerca de 1 litro por balde. Assim, esta quantidade foi arbitrada para ser colocada também nos baldes comuns, para que fosse possível uma comparação mais realista do crescimento das plantas, uma vez que a quantidade de água seria aproximadamente a mesma, tanto para os BC2 quanto para os baldes comuns.

A Tabela 27 apresenta resultados de consumo médio semanal de água (em litros por planta)

e crescimento correspondente.

Tabela 27 – Consumo de água e crescimento das plantas, durante o experimento.

Nº balde	Tipo de Balde	Planta/cultura	Nº plantas no balde	Dias após plantio		Consumo médio semanal (l/planta)	Média de crescimento final (cm)	Relação consumo e crescimento (l/cm)*
				Dia 15	Dia 22			
				Consumo de água (litros)				
1	Baldecap 2	Algodão herbáceo	5	1.4	1.8	0.3	35	0.03
2			5	2.2	1.9	0.4	36	0.03
3		Algodão naturalmente colorido	5	2.2	1.5	0.4	37	0.03
4			5	1.8	1.7	0.4	43	0.02
5		Algodão mocó	3	1.2	1.1	0.4	25	0.05
6			2	0.9	1.0	0.5	24	0.06
7		Amendoim	5	2.2	2.1	0.4	44	0.03
8			5	2.7	2.0	0.5	46	0.03
14		Fava	1	0.9	0.8	0.9	40	0.06
15		Feijão macassar	5	2.7	3.0	0.6	50	0.03
16			5	3.6	3.9	0.8	50	0.05
21		Milho comum	2	1.9	1.6	0.9	55	0.05
22			3	1.9	1.5	0.6	52	0.03
24			3	1.9	1.4	0.6	53	0.03
25		Milho vermelho	4	2.8	2.0	0.6	87	0.02
26			5	2.7	1.9	0.5	70	0.02
Média semanal de todas as plantas nos BC2 (litros/planta)						0.53	46.7	0.03
9	Balde comum de controle	Amendoim	1	1.0	1.0	1.0	35	0.09
10			1	1.0	1.0	1.0	29	0.10
11			1	1.0	1.0	1.0	33	0.09
12			1	1.0	1.0	1.0	33	0.09
13			1	1.0	1.0	1.0	36	0.08
17		Feijão macassar	1	1.0	1.0	1.0	22	0.14
18			1	1.0	1.0	1.0	32	0.09
19			1	1.0	1.0	1.0	40	0.08
20			1	1.0	1.0	1.0	40	0.08
24		Milho comum	1	1.0	1.0	1.0	50	0.06
Média semanal de todas as plantas nos baldes comuns (litros/planta)						1.00	35.0	0.09

(*) A média de consumo da primeira semana não foi medida em todos os baldes, sendo estimada como a média das duas semanas seguintes.

É importante ressaltar que, nos baldes comuns, foram feitos 2 pequenos furos na parte lateral, próximos ao fundo, para permitir a saída do eventual excesso de água, simulando uma situação real de campo, onde acontece a infiltração da água da chuva no terreno. No entanto, observou-se, posteriormente, que não houve vazamento de água por estes furos, com a terra dos baldes comuns permanecendo húmida, no entanto, bem mais compactada que a terra dos BC2, o que pode ter contribuído para um menor crescimento das plantas.

Para que fosse possível ter uma ideia da relação entre consumo de água e crescimento, com base no número de plantas no balde foi calculado o consumo médio semanal. Por exemplo, no balde 1, com 5 plantas de algodão herbáceo, o consumo médio semanal foi 0.3 litros (300 ml) por planta. Como a média de crescimento, ao final do experimento, foi de 35 cm, pode-se calcular a relação entre o consumo de água e o crescimento das plantas, obtendo-se 0.03 litros por centímetro de altura. Neste cálculo, foi desconsiderado o efeito da evaporação da água na superfície da terra no vaso.

Apesar de todos os baldes terem sido irrigados semanalmente, com uma média de 1 litro de água para cada um deles, no caso do BC2, boa parte da água colocada semanalmente permanecia dentro do balde e era transportada lentamente, via pavios capilares, para a terra na parte superior, de maneira muito eficiente. Já no caso dos baldes tradicionais, a água excedente era evaporada ou perdida pelos furos inferiores do balde. Dessa forma, a quantidade de água utilizada no cálculo do consumo foi a quantidade de água derramada no balde, semanalmente, e não o consumo de água pelas plantas, como no caso dos BC2.

Isto deve-se à grande dificuldade de se medir a quantidade de água efetivamente absorvida pelas raízes das plantas, o que necessitaria de uma instrumentação muito mais sofisticada para avaliar a humidade da terra no início e fim de cada irrigação, por exemplo. Assim, não foi possível quantificar, nos baldes comuns, a participação de cada um dos fatores mais importantes (quantidade de água no solo e nível de compactação, uma vez que a terra preparada foi a mesma) no baixo crescimento das plantas.

Conclui-se, no entanto, que o “efeito capilaridade” e o “efeito aeração”, combinados, contribuíram para o melhor desempenho dos BC2 em relação aos baldes comuns. Por outro lado, observou-se, no experimento, que a irrigação subterrânea capilar molhou a terra a partir da periferia dos baldes (onde estavam os pavios de resíduos têxteis) em direção ao centro; e o bolsão de ar acima do reservatório de água permitiu a passagem de ar pela terra, arejando-a, reduzindo a compactação e garantindo oxigénio para o crescimento das raízes. Fica evidente que estes factos, combinados, garantiram o excelente desempenho dos BC2.

A despeito da impossibilidade de utilização de instrumentação mais sofisticada para medição da humidade do solo ao longo de todo o experimento, o excelente desempenho dos BC2 com capilaridade também ficou evidente quantitativamente, a partir dos resultados da Tabela 26, onde se mostra que as plantas nos BC2 cresceram, em média, 33.4% a mais que as plantas nos vasos comuns, consumindo apenas 53% da água destes. Assim, o resultado final foi cerca de 3 vezes melhor para os BC2, ou seja, cerca de 0.03 litros (30 ml) por centímetro de crescimento, contra cerca de 0.09 litros/cm, para os casos dos vasos comuns, sem aeração e sem capilaridade.

Capítulo 6

6 Conclusões

A presente investigação é claramente multidisciplinar, uma vez que envolve a utilização de resíduos da indústria têxtil para o desenvolvimento de dispositivos diversos para irrigação subterrânea pelo princípio da capilaridade.

As empresas situadas no Nordeste e, em especial, na Paraíba, enfrentam elevados custos e dificuldades logísticas para o reaproveitamento destes resíduos sintéticos, devido principalmente à grande distância das principais fábricas de reaproveitamento e de reciclagem destas fibras sintéticas, localizadas nas regiões Sul e Sudeste do país, incluindo-se neste caso as fábricas de não-tecidos.

No caso das fibras naturais e, em específico, do algodão, as fábricas de fiação e tecelagens brasileiras reaproveitam quase que totalmente os seus resíduos, após um processo de desfibragem. O restante é absorvido e reutilizado pelo artesanato regional. Assim, esta investigação incidiu, em particular, no reaproveitamento dos desperdícios de fibras sintéticas da indústria têxtil e vestuário da Paraíba que, em sua maioria, acabam em lixões a céu aberto, em 195 dos 223 municípios do estado.

O uso de dispositivos de irrigação têxtil por capilaridade pode proporcionar inúmeras vantagens para as pequenas propriedades rurais, especialmente as localizadas em regiões semiáridas que, normalmente, sofrem com o problema da falta de água para irrigação. Este tipo de irrigação, de baixo custo, pode contribuir para o aumento da produtividade, do lucro e do valor da pequena propriedade rural e otimizar o manejo de culturas em pequenas áreas.

Em maior escala, podem contribuir para a escalonamento de culturas; para a realização de dois ou mais cultivos por ano na mesma área, minimizando o risco do investimento; para a melhoria das condições económicas de comunidades rurais e fixação de famílias no meio rural, reduzindo o êxodo rural e o crescimento desordenado das grandes cidades.

Além das vantagens sociais, económicas e tecnológicas evidentes, como a economia de água e a redução da mão-de-obra em pequenas culturas para a agricultura familiar, com a utilização da irrigação têxtil por capilaridade as mulheres podem ter a oportunidade de dar uma maior contribuição para a geração de receita para a família, produzindo nos quintais,

em pequenos espaços, e comercializando o excedente da produção, contribuindo para uma maior autonomia e independência dessas mulheres agricultoras.

Em linhas gerais, todos os resultados experimentais de campo demonstraram que os dispositivos desenvolvidos com pedaços de resíduos têxteis sintéticos foram capazes de transportar água para zonas distantes do solo, mantendo-o húmido ao nível das raízes e contribuindo para um melhor crescimento das plantas testadas. Ou seja, todos os dispositivos construídos de modo a possibilitar irrigação subterrânea têxtil por capilaridade, funcionaram adequadamente, em uma análise qualitativa.

Os dispositivos idealizados e testados possuem em comum o fato de serem tecnologias sociais, de baixo custo, fácil construção, implantação e manutenção; simplicidade; possibilidade de domínio da tecnologia pelos próprios beneficiários; e geradores de conhecimento compartilhado entre os proponentes e os beneficiários. Em resumo, potenciais geradores de impacto social para esta população que tanto necessita de soluções inclusivas.

Com relação ao desempenho dos resíduos têxteis, os provetes têxteis compostos de fibras sintéticas apresentaram melhores resultados nos testes laboratoriais de transporte de líquido, em comparação com as fibras naturais de algodão. As amostras de algodão naturalmente colorido (4 e 5) apresentaram maior porosidade (0.71 e 0.74), correspondendo a poros de maiores dimensões, o que pode ter contribuído para diminuir a ascensão capilar vertical. Além disso, o fato de possuírem, provavelmente, uma maior percentual de gordura, além da baixa recuperação de umidade, contribuiu para os piores desempenhos nos testes de capilaridade vertical (médias de 2.75 cm e 1.75 cm, respectivamente), bem abaixo das amostras sintéticas. A amostra 7, que atingiu a maior altura média, 15.5 cm, é a amostra menos porosa, 0.50, e com poros mais estreitos, como visualizado nas imagens capturadas com microscópio óptico.

Todos os resíduos têxteis sintéticos estudados serviram para a finalidade principal testada ao longo deste trabalho: transportar água de reservatórios para o solo ao nível das raízes das plantas cultivadas, o que confirma que é possível desenvolver dispositivos de muito baixo custo e fácil construção, aplicados à irrigação subterrânea por capilaridade, aumentando a eficiência dos métodos de irrigação com foco na pequena propriedade da agricultura familiar, em regiões semiáridas como o Nordeste do Brasil.

Também foram idealizados e testados diversos dispositivos que combinam resíduos têxteis e recipientes plásticos, como baldes e garrafas PET, cujo descarte indiscriminado em todo

o mundo representa um problema ambiental de grandes dimensões. Demonstrou-se que é possível combinar estes resíduos, de forma simples e inovadora, para desenvolver dispositivos funcionais para irrigação localizada, seja subterrânea em canteiros ou em baldes e vasos simples que podem ser utilizados para produção de mudas (entre viveiro e cultura), decoração de ambientes e na agricultura urbana.

A presente investigação, portanto, contribui para a implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos, por meio da valorização e da reutilização de resíduos têxteis e de recipientes plásticos diversos.

Com relação aos desempenhos dos diversos dispositivos idealizados e testados, chega-se às seguintes conclusões:

- Desempenho dos quatro canteiros económicos 3 (A, B, C e D):
 - O consumo médio de água destes quatro canteiros foi de menos de 1% em relação à média dos canteiros tradicionais, de controlo. Este resultado é muito significativo em uma área tão afetada pela falta de água como o semiárido brasileiro. Este consumo muito baixo deu-se, provavelmente, pela ação combinada da impermeabilização de alvenaria e dos resíduos têxteis capilares que foram colocados no solo, ao nível das raízes, mantendo-o húmido pelo fenómeno da capilaridade, o suficiente para uma adequada absorção de água pelas raízes das plantas sem a necessidade de regas periódicas.
 - O canteiro 3C obteve o melhor desempenho, uma vez que teve consumo de água similar aos outros (3A, 3B e 3D), mesmo com uma quantidade inferior de resíduos têxteis, correspondente a 50% de área de resíduos em relação à área do canteiro. Estes resultados confirmam que não é necessária uma quantidade avultada de resíduos têxteis para garantir a humidade, o que viabiliza a utilização de pequenas quantidades de resíduos por canteiro. No entanto, caso esta tecnologia social seja escalada para um maior número de pequenas propriedades rurais, a reutilização destes resíduos têxteis pode ser significativa, reduzindo os impactos ambientais decorrentes do descarte indiscriminado deste resíduos nos lixões das pequenas cidades do interior.
 - Com relação aos aspectos construtivos, o canteiro 3C novamente destaca-se, no que diz respeito à facilidade de construção e de manutenção. É muito fácil de construir, com os dispositivos capilares sendo montados com mangueiras plásticas

comerciais que possuem microfuros espaçados a intervalos regulares, revestidas com resíduos têxteis, que tiveram dupla função: impedir a entrada de terra nos microfuros, evitando entupimentos e, conseqüente, interrupção da irrigação; e proporcionar um aumento e melhor distribuição da humidade do solo, por meio da capilaridade.

- Com relação aos custos, o canteiro 3C tem um custo estimado de € 1.19 por m², o segundo mais baixo. Os canteiros 3A e 3B foram mais caros, por utilizarem mangueiras exsudantes especiais e tubos, o que requer uma maior quantidade de conexões em PVC.
 - Com relação à disponibilidade de material, o canteiro 3C também se destaca, pelo facto de utilizar materiais de construção fáceis de encontrar nas pequenas cidades, como tijolo, cimento, areia e mangueiras plásticas de irrigação, muitas delas também fabricadas com plástico reciclado, o que potencia este canteiro como tecnologia social que pode contribuir para a sustentabilidade na agricultura familiar.
 - Com relação à tecnologia social em si, o canteiro 3C pode ser considerado uma nova versão do canteiro económico da Embrapa, que já é difundido no meio rural há bastante tempo, com a diferença de viabilizar uma melhor distribuição da água em toda a área do canteiro, devido ao efeito capilar dos resíduos têxteis colocados sobre as mangueiras plásticas subterrâneas. Esta possível melhoria no canteiro económico pode ser estudada em investigações futuras e pode tornar-se uma outra importante contribuição da presente investigação para a agricultura familiar no semiárido.
- Desempenho do Baldecap 2:
 - Os Baldecap 2 tiveram muito bom desempenho nos testes realizados nesta investigação. As culturas plantadas nestes baldes inovadores cresceram, em média, 33.4% a mais que as mesmas plantas nos vasos comuns, sob as mesmas condições ambientais. Conseguiram este maior crescimento mesmo com o facto de terem consumido apenas 53% da água. Assim, combinando-se estes dois factores, o resultado final foi cerca de 3 vezes melhor para os Baldecap 2, ou seja, cerca de 0.03 litros (30 ml) por centímetro de crescimento, contra cerca de 0.09 litros/cm, para os casos dos vasos comuns, que não possuíam aeração nem capilaridade.

- Durante a investigação, ficou bastante claro que o Baldecap 2 minimizou os problemas de molhagem excessiva e de compactação da terra, uma vez que possibilitou a molhagem de forma lenta e contínua, efeito este devido aos pavios capilares, além de possibilitar a aeração do solo de baixo para cima, o que, provavelmente garantiu o necessário aporte de oxigênio para as raízes das plantas testadas, incrementando seus crescimentos. Neste sentido, o excelente desempenho dos Baldecap 2 deveu-se, provavelmente, ao efeito combinado de três fatores: a) irrigação subterrânea têxtil, por capilaridade; b) reservatório inferior de água, evitando-se a necessidade de rega manual, diária; c) incorporação de bolsão de ar entre o reservatório de água e a terra, permitindo aeração e menor compactação da terra.
- Os resultados obtidos com o Baldecap 2 demonstram claramente a importância dos resíduos têxteis capilares para a manutenção da humidade do solo e, conseqüentemente, melhor desempenho das culturas. Esta técnica de uso de pavios capilares em vasos autoirrigáveis está sendo cada vez mais difundida. No entanto, diferentemente da utilização de dispositivos novos, caros, importados e sofisticados, efeito semelhante de autoirrigação e bom crescimento das culturas pode ser obtido com o Baldecap 2, construído totalmente com materiais simples e com reutilização de algumas partes, como os pavios têxteis e as garrafas PET, que normalmente seriam descartadas indiscriminadamente no meio ambiente.
- O Baldecap 2 foi desenvolvido para ser utilizado em pequenos espaços na propriedade rural, podendo ser utilizado, também, na agricultura urbana, para o cultivo de pequenas hortas, mudas (entre viveiro e cultura), ervas aromáticas e medicinais. Além disso, experimentos futuros podem demonstrar sua viabilidade para utilização em outras culturas de maior porte.
- Com o Baldecap 2 é possível, por exemplo, germinar sementes de culturas tradicionais do semiárido, como milho, feijão, fava, algodão e amendoim, com a utilização de somente 0.5 litro da água por planta, por semana, o que viabiliza a cultura de uma maior quantidade de plantas em pequenos espaços. Importa ressaltar que a quantidade de água disponível em uma cisterna produtiva no semiárido é de somente 52.000 litros, projetada para 1 ano de consumo. Assim, cultivos em Baldecap 2, se feitos em escala, podem contribuir sobremaneira para a melhoria da agricultura familiar no semiárido.

- Desempenhos dos outros dispositivos:
 - O SISCAFI funcionou adequadamente, proporcionando umidade ao nível das raízes para culturas do semiárido. No entanto, embora utilize materiais facilmente encontrados no mercado, mesmo em pequenas cidades (garrafas PET reutilizadas, canos e conexões PVC, pedaços de tecido), não é de tão fácil construção como se supunha inicialmente. O principal desafio é a realização de uma boa conexão das garrafas PET com os tubos PVC, local crítico onde pode acontecer vazamento e inviabilizar o sistema.
 - Os baldes capilares foram idealizados como alternativas ao SISCAFI e aos canteiros de alvenaria, uma vez que seriam de mais fácil construção, instalação e operação. A ideia é simples: enterrar baldes construídos com a técnica básica do ferrocimento, com a diferença da superfície interna do balde ser revestida com resíduos têxteis, tornando-a capilar. Os baldes foram enterrados abaixo de cada planta a ser testada e cheios da mesma terra retirada do solo.
 - A mão-de-obra para a instalação dos baldes capilares é maior do que a do SISCAFI e bem menor do que a do canteiro de alvenaria. Tal como o SISCAFI, o Baldecap mantém a umidade do solo apenas na região próxima às raízes das plantas, otimiza ao máximo a utilização da água. E, em caso de chuva, acumula a água percolada no solo, característica que o SISCAFI não possui. O desempenho dos baldes capilares também foi muito significativo, conforme resultados apresentados no capítulo dedicado a esta tecnologia social.
 - Ao longo de todo o período deste trabalho de doutoramento, foram realizadas diversas oficinas em comunidades e escolas rurais, para a construção coletiva e colaborativa de algumas versões de vasos capilares baseados em garrafas PET e resíduos têxteis funcionando como pavios capilares. Em linhas gerais, os vasos capilares foram testados e tiveram bom desempenho para a germinação de sementes de hortaliças.

6.1 Resumo das contribuições da investigação

Considerando os resultados obtidos, seguem as principais contribuições da presente investigação:

- Caracterização de resíduos têxteis típicos de indústrias de confecções do Nordeste do Brasil, incluindo testes de capilaridade em laboratórios e em campo, que confirmaram a possibilidade de utilização destes resíduos sintéticos para a aplicação de irrigação subterrânea por capilaridade em pequenas culturas da agricultura familiar;
- Ideação, construção e testes do canteiro económico capilar, uma versão do canteiro económico da Embrapa, com o diferencial de que utiliza irrigação subterrânea por capilaridade baseada em reutilização de resíduos têxteis sintéticos, visando uma melhor distribuição e uniformização da humidade do solo em todo o canteiro;
- Ideação, construção e testes de dispositivos simples e de baixo custo - SISCAFI, colar PET e vasos autoirrigáveis - que funcionam pelo princípio da irrigação têxtil por capilaridade, baseados em reutilização combinada de garrafas PET e de resíduos têxteis sintéticos;
- Ideação, construção e testes do Baldecap e da Baciacap, para serem enterrados. Construídos em ferrocimento e com reuso de resíduos têxteis sintéticos, são adequados para utilização em culturas de maior porte, como a palma e a mandioca.
- Ideação, construção e testes do Baldecap 2, para ser aplicado preferencialmente no crescimento de mudas (entre viveiro e cultura). É construído com reuso de baldes plásticos e de resíduos têxteis sintéticos que promovem a irrigação por capilaridade. Possui características adicionais, que se mostraram também importantes: autoirrigação, a partir de um reservatório de água; e aeração do solo, de baixo para cima, reduzindo sua compactação;
- Testes de germinação de sementes de culturas típicas do semiárido, nos Baldecap 2, que mostraram desempenho três vezes melhor se comparados a baldes comuns sem capilaridade e sem aeração, quando considerados, de forma combinada, o menor consumo de água e o maior crescimento.

Como se pode observar ao longo da investigação, os dispositivos e tecnologias desenvolvidas podem ser facilmente construídos e replicados pela população que vive no semiárido brasileiro e que tanto necessita de alternativas para a melhoria dos seus processos produtivos, especialmente para os agricultores familiares, com consequente geração de receita e melhoria da qualidade de vida de quem luta para viver e conviver com o semiárido.

As tecnologias desenvolvidas permanecem em aperfeiçoamento e multiplicação para agricultores familiares, por meio de projetos de extensão com instituições parceiras, o que pode vir a representar, no futuro, um importante avanço para a irrigação de culturas em regiões semiáridas.

A presente investigação confirma, também, que não é necessário importar dispositivos e tecnologias sofisticadas, caras e patenteadas, para aplicação na irrigação por capilaridade. Resíduo têxtil e plástico podem ser reutilizados com sucesso, como demonstrado nos diversos dispositivos idealizados, construídos e testados.

6.2 Investigações futuras

Os resultados da presente investigação abrem a possibilidade de continuação de estudos sobre este tema, que envolve ações importantes para o estímulo à produção sustentável na agricultura familiar no semiárido, recorrendo à reutilização de resíduos sólidos diversos, como os têxteis sintéticos e os recipientes plásticos descartados no lixo, para o desenvolvimento, aplicação e disseminação de tecnologias sociais.

Iniciativas posteriores, que visem dar escala às aplicações testadas nesta investigação, podem contribuir para a geração de receita e melhoria da qualidade de vida da população que vive no semiárido brasileiro, sem agredir o meio ambiente e contribuindo para minimizar os impactos já gerados pelos resíduos, que podem ser reutilizados na construção destas tecnologias. Assim, como possibilidades de trabalhos futuros, estão:

- o redesenho dos vasos capilares desenvolvidos, inserindo um bolsão de ar efetivo;
- a adição de uma camada de pedaços de resíduos da indústria de cerâmica vermelha (“cacos de telhas”), na construção e modificação dos dispositivos idealizados, aproveitando-se mais um tipo de lixo comum na região, promovendo aeração e auxílio no transporte de líquidos, uma vez que também é um material poroso;
- elaboração de cartilhas de construção para os dispositivos idealizados, a exemplo da cartilha anexada, relativa ao Baldecap 2;
- testes completos do novo canteiro económico capilar, comparando-o com o canteiro económico da Embrapa e com os canteiros tradicionais, como controlo;
- elaboração de kits de montagem dos dispositivos idealizados, para serem comercializados nas casas de materiais de construção, facilitando sua disseminação;
- estudo da longevidade dos dispositivos;
- estudo do impacto da limpeza do terreno após conclusão da utilização.

7 Referências Bibliográficas

- [1] ASABRASIL, “Semiárido - É no semiárido que a vida pulsa!,” *asabrazil.org.br*, 2015. [Online]. Available: <https://www.asabrazil.org.br/semiariado>. [Acedido em Jun. 20, 2020].
- [2] IWT, “KISSSS Technology,” *kiss.com.au*, 2020. [Online]. Available: <http://www.kiss.com.au/Products>. [Acedido em Jun. 20, 2020].
- [3] AUTOPOT, “Autopot Watering System Brochure,” *autopot.co.uk*, 2019. [Online]. Available: <https://bit.ly/3kPAf49>. [Acedido em Jun. 20, 2020].
- [4] J. T. Torres, “Riego por exudación,” *riegoexudanteporitex.files.wordpress.com*, 2016. [Online]. Available: <https://bit.ly/3auNIti>. [Acedido em Jun 20, 2020].
- [5] ITS Brasil, “Caderno de Debate - Tecnologia Social no Brasil,” *itsbrasil.org.br*, 2004. [Online]. Available: <https://bit.ly/3iRbfI5>. [Acedido em Jun 20, 2020].
- [6] E. Cunha, *Os Sertões*. São Paulo, SP: Martin Claret, 2017.
- [7] C. N. de Castro, “Sobre a agricultura irrigada no semiárido: uma análise histórica e atual de diferentes opções de política,” *ipea.gov.br*, 2018. [Online]. Available: <https://bit.ly/3415QtH>. [Acedido em Aug. 16, 2020].
- [8] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, “Mapa_semiarido_2017_11_23,” *ibge.gov.br*, 2010. [Online]. Available: <https://bit.ly/2EaSAaN>. [Acedido em Jun. 7, 2020].
- [9] Ministério do Desenvolvimento Regional, “Semiárido Brasileiro,” *mdr.gov.br*, 2019. [Online] Available: <https://www.mdr.gov.br/irrigacao/semiariado-brasileiro>. [Acesssed Jun. 20, 2020].
- [10] J. Suassuna “Semi-árido: proposta de convivência com a seca,” *fundaj.gov.br*, 2019. [Online]. Available: <https://bit.ly/2Y5dP5b>. [Acedido em Jun. 20, 2020].
- [11] D. F. Carvalho, “Sistemas de Irrigação - Parte 1” *ufrj.br*, 2013. [Online]. Available: <https://bit.ly/34bJGVs>. [Acedido em Jun. 7, 2020].
- [12] M. B. Braga and M. Calgaro, “Sistemas de Produção de Melancia - Irrigação,” *embrapa.br*, 2010. [Online]. Available: <https://bit.ly/2PXWXco>. [Acedido em Jun. 7, 2020].
- [13] J. A. Frizzone, “Irrigação - Aula 1,” *esalq.usp.br*, 2017. [Online]. Available: <https://bit.ly/3iPmxwr>. [Acedido em Jun. 7, 2020].
- [14] R. Testetzlaf, “Irrigação: Métodos, Sistemas e Aplicações,” *unesp.br*, 2017. [Online]. Available: <https://bit.ly/3iI9gFR>. [Acedido em Jun. 7, 2020].
- [15] L. F. Stone, “Métodos de Irrigação - Irrigação por sulcos,” *embrapa.br*, 2020. [Online]. Available: <https://bit.ly/2E7cDqU>. [Acedido em Jun. 1, 2020].

- [16] L. F. Stone, P. M. da Silveira, and J. A. A. Moreira, “Métodos de Irrigação,” *embrapa.br*, 2020. [Online]. Available: <https://bit.ly/2DOBcsY>. [Acedido em Jun. 7, 2020].
- [17] J. A. Frizzone, “Os Métodos de Irrigação,” *esalq.usp.br*, 2017. [Online]. Available: <https://bit.ly/32o6Trd>. [Acedido em Jun. 7, 2020].
- [18] Agência Nacional de Águas (ANA), *ATLAS IRRIGAÇÃO - Uso da Água na Agricultura Irrigada*. Brasília, DF: ANA, 2017. [E-book]. Available: <https://bit.ly/3fXeoW9>.
- [19] V. M. Ferreira, *Técnico Agropecuária-Irrigação e Drenagem*. Florianópolis, PI: EDUFPI, 2011. [E-book]. Available: <https://bit.ly/3h2pRnn>.
- [20] F. R. Miranda and V. H. Oliveira, “Métodos de Irrigação,” *embrapa.br*, 2015. [Online]. Available: <https://bit.ly/31VUSTJ>. [Acedido em Aug. 16, 2020].
- [21] N. Chaves, *Dossiê Técnico - Cultivo do Morango*. Brasília, DF: CDT/UnB, 2007. [E-book]. Available: <https://bit.ly/2PZmgLo>.
- [22] CASAIRRIGA, “Tubo Exsudante Poritex,” *casairriga.com.br*, 2020. [Online]. Available: <https://bit.ly/3kPHqJD>. [Acedido em Aug. 16, 2020].
- [23] DCTC, “DCTC News - Grow by Heart,” *blogs.dctc.edu*, 2012. [Online]. Available: <https://bit.ly/2Y7c1bR>. [Acedido em Aug. 16, 2020].
- [24] DRIP IRRIGATION SYSTEMS, “Smart Fertilizer Management,” *smart-fertilizer.com*, 2011. [Online]. Available: <https://bit.ly/31VAJgy>. [Acedido em Aug. 16, 2020].
- [25] E. F. Coelho, T. S. M. Silva, I. Parizotto, A. J. P. Silva, and D. B. Santos, “Sistemas de irrigação para agricultura familiar - Circular Técnica,” *embrapa.br*, 2012. [Online]. Available: <https://bit.ly/3h3aAT4>. [Acedido em Jun. 7, 2020].
- [26] C. L. T. Andrade and R. A. L. Brito, “Métodos de Irrigação,” *embrapa.br*, 2009. [Online]. Available: <https://bit.ly/3fZph8E>. [Acedido em Aug. 16, 2020].
- [27] F. Birolo, “Cultivo de cebola com irrigação por gotejamento anima produtores do Nordeste,” *embrapa.br*, 2012. [Online]. Available: <https://bit.ly/2DOcKrF>. [Acedido em Aug. 16, 2020].
- [28] M. C. Corsino, “Cebola irrigada por gotejamento tem alta produtividade no sertão nordestino,” *cpt.com.br*, 2012. [Online]. Available: <https://bit.ly/31Zdwdc>. [Acedido em Aug. 16, 2020].
- [29] M. Ribeiro, “Gotejamento e fertirrigação fazem agricultores ampliarem áreas cultivadas com melão, melancia e cebola,” *embrapa.br*, 2013. [Online]. Available: <https://bit.ly/3kLDLg1>. [Acedido em Aug. 16, 2020].
- [30] AGROLINK/TODAFRUTA, “Tecnologias de irrigação permitem produção de frutas no semiárido nordestino,” *agrolink.com.br*, 2014. [Online]. Available: <https://bit.ly/2EcJomj>. [Acedido em Aug. 16, 2020].
- [31] I. W. L. Pachico, “Avaliação de Sistemas de Irrigação Localizada de Baixo Custo Recomendado a Pequenos Agricultores da Região Semiárida,” M. S. thesis, UFERSA, Mossoró, RN, 2014. Available: <https://bit.ly/2CwLDAF>.

- [32] W. A. Marouelli, A. S. Oliveira, E. F. Coelho, L. C. Nogueira, V. F. Sousa, “Manejo da água de irrigação,” *embrapa.br*, 2011. [Online]. Available: <https://bit.ly/3gWO3aF>. [Acedido em Aug. 16, 2020].
- [33] A. M. Helmenstine, “Capillary Action: Definition and Examples,” *thoughtco.com*, 2020. [Online]. Available: <https://bit.ly/310VlEM>. [Acedido em Aug. 16, 2020].
- [34] KISS America, “Below Flow Flat Specification Sheet,” *sustainableirrigationsystems.wordpress.com*, 2011. [Online]. Available: <https://bit.ly/3iL6QpN>. [Acedido em Aug. 16, 2020].
- [35] GROWPRO, “Aquabox Spider,” *autopot.co.uk*, 2015. [Online]. Available: <https://bit.ly/3asQntU>. [Acedido em Aug. 16, 2020].
- [36] PORITEX, “Uniformidad del Riego,” *riegoexudanteporitex.files.wordpress.com*, 2015. [Online]. Available: <https://bit.ly/3g44bWB>. [Acedido em Aug. 16, 2020].
- [37] J. T. Torres, “Riego por exudación,” *riegoexudanteporitex.files.wordpress.com*, 2015. [Online]. Available: <https://bit.ly/31VUNiJ>. [Acedido em Aug. 16, 2020].
- [38] M. Rosique, “10 Ventajas del riego por exudación,” *planteaenverde.es*, 2014. [Online]. Available: <https://bit.ly/2Fuk1gG>. [Acedido em Aug. 16, 2020].
- [39] HUNTERINDUSTRIES, “Eco-Mat and PLD-ESD - Subsurface Irrigation,” *hunterindustries.com*, 2012. [Online]. Available: <https://bit.ly/3fZZU6v>. [Acedido em Aug. 16, 2020].
- [40] IWT, “Useful Info - FAQ’s,” *iwtech.com.au*, 2020. [Online]. Available: <https://bit.ly/3iMdrjX>. [Acedido em Aug. 16, 2020].
- [41] ABIT/CNI, *Relatório: O setor têxtil e de confecção e os desafios da sustentabilidade*. Brasília, DF: ABIT/CNI, 2017. [E-book]. Available: <https://bit.ly/3h51Z2n>.
- [42] ABIT, “Perfil do Setor,” *abit.org.br*, 2019. [Online]. Available: <https://bit.ly/3iN29vS>. [Acedido em Aug. 16, 2020].
- [43] L. F. B. Emídio and M. S. Menezes, “Gestão de Design nas MPes do vestuário da moda: o caso da região de Londrina,” In *Design e Planejamento: aspectos tecnológicos*. São Paulo, SP: Cultura Acadêmica, 2009. Available: <https://bit.ly/30YZtFe>.
- [44] F. L. E. Viana, *A indústria têxtil e de confecções no Nordeste: características, desafios e oportunidades*. Fortaleza, CE: BNB/ETENE, 2005.
- [45] ABIT, “Relatório de Atividades 2018,” *abit.org.br*, 2019. [Online]. Available: <https://bit.ly/2PZOi97>. [Acedido em Aug. 16, 2020].
- [46] F. D. Bezerra, “Informe Técnico do ETENE - Análise Retrospectiva e Prospectiva do Setor Têxtil no Brasil e no Nordeste,” *bnb.gov.br*, 2014. [Online]. Available: <https://bit.ly/2PZyQcW>. [Acedido em Aug. 16, 2020].
- [47] B. O. M. Junior, “A Indústria Têxtil no Nordeste, Norte de Minas e Norte do Espírito Santo – Contextualização e Perspectivas,” *bnb.org.br, Caderno Setorial ETENE*, ano 4, nº 101, Oct, 2019. [Online serial]. Available: <https://bit.ly/311x4P2>. [Acedido em Aug. 16, 2020].

- [48] F. S. Bruno, *A quarta revolução industrial do setor têxtil e de confecção: a visão de futuro para 2030*. São Paulo, SP: Estação das Letras e Cores, 2016. [E-book]. Available: <https://bit.ly/3kU4J5c>.
- [49] J. J. Lu and H. Hamouda, “Current Status of Fiber Waste Recycling and Its Future,” *Advanced Materials Research*, vol. 878, pp. 122-131, Jan. 2014.
- [50] Y. Wang, “Fiber and Textile Waste Utilization”, *Waste and Biomass Valorization*, vol. 1, pp. 135–143, 2010.
- [51] G. S. Milan, C. Vittorazzi, and Z. C. Reis, “A Redução de Resíduos Têxteis e de Impactos Ambientais: Um Estudo Desenvolvido em uma Indústria de Confecções do Vestuário,” In XIII SEMEAD - Seminários em Administração, Sept. 2010, pp. 1-17. [Online]. Available: <https://bit.ly/2PZlptv>.
- [52] V. Alejandro, L. Delgado, Z. Luo, P. Eder, A. S. Catarino, and D. Litten, *Study on the selection of waste streams for end-of-waste assessment - Final Report*. JRC Reports EUR 24362 EN, 2010. Available: <https://bit.ly/3awkABP>.
- [53] N. J. Morley, C. Bartlett, I. McGill, *Maximising Reuse and Recycling of UK Clothing and Textiles: A report to the Department for Environment, Food and Rural Affairs*. London, UK: Oakdene Hollins Ltd, Oct. 2009. Available: <https://bit.ly/3awoloc>.
- [54] FRIENDS OF THE EARTH EUROPE, *Gone to waste: The valuable resources that European countries bury and burn - Report*. Brussels: FOE Europe, Oct. 2009. Available: <https://bit.ly/3iFo2wW>.
- [55] M. L. D. Ferreira, T. N. Costa, F. G. Teixeira, A. Cattani, and J. J. Jacques, “Redução de resíduos têxteis por meio de projeto de produto de moda”, *Design & Tecnologia*, vol. 10, pp. 38–44, Dec, 2015. [Online serial]. Available: <https://bit.ly/2FvoSv3>.
- [56] G. Saito, M. Moura, and M. O. H. Santos, “Controle de resíduos aplicado na indústria têxtil: análise da redução de insumos, gestão no descarte de materiais e mensuração da economia financeira após a sua aplicação,” Bachelor dissertation, Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, SP, 2010.
- [57] M. Mariano, “Setor têxtil lança projeto para reciclagem de resíduos,” *textilia.net*, 2012. [Online]. Available: <https://bit.ly/3498ZHR>. [Acedido em Aug. 16, 2020].
- [58] GOVERNO DO BRASIL, “Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS),” Decreto N° 7.404/2010. Available: <https://bit.ly/3h3mDQi>.
- [59] ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, *A New Textiles Economy: Redesigning Fashion's Future*. Cowes, UK: 2017. [E-book]. Available: <https://bit.ly/3h3Mw2s>.
- [60] ECYCLE, “Indústria da moda desperdiça um caminhão de lixo têxtil por segundo,” *ecycle.com.br*, 2017. [Online]. Available: <https://bit.ly/2LH3RRg>. [Acedido em Aug. 16, 2020].
- [61] GLOBO.COM, “Fabricação de uma calça jeans consome 11 mil litros de água,” *g1.globo.com*, 2015. [Online]. Available: <https://glo.bo/2YzhqHP>. [Acedido em Aug. 16, 2020].

- [62] B. Morris, “Marca de luxo Burberry queima roupas, perfumes e acessórios no valor de R\$ 141 milhões,” *bbc.com*, 2018. [Online]. Available: <https://bbc.in/3h3nQXQ>. [Acedido em Aug. 16, 2020].
- [63] EDGE, “Fashion Industry Waste Statistics,” *edgexpo.com*, 2020. [Online]. Available: <https://bit.ly/2DOSwOw>. [Acedido em Aug. 16, 2020].
- [64] NAÇÕES UNIDAS, “17 Objetivos para Transformar Nosso Mundo,” *nacoesunidas.org*, 2015. [Online]. Available: <https://bit.ly/2EoGr8J>. [Acedido em Aug. 16, 2020].
- [65] O ECO, “O que é desenvolvimento sustentável,” in *Dicionário Ambiental ((o))eco*, 2014. Available: <https://bit.ly/2PUuFiN>. [Acedido em Aug. 16, 2020].
- [66] SECOVIRIO, “Conheça os 8R’s da moda sustentável,” *condominiosverdes.com.br*, 2018. [Online]. Available <https://bit.ly/2Y6he3v>. [Acedido em Aug. 16, 2020].
- [67] ROUPATECA, “Como funciona a Roupateca,” *aroupateca.com.br*, 2020. [Online]. Available: <http://aroupateca.com/>. [Acedido em Aug. 16, 2020].
- [68] EMBRAPA, “Lançado jeans de algodão colorido que gasta menos água na fabricação,” *embrapa.br*, 2019. [Online]. Available: <https://bit.ly/33ZB7x7>. [Acedido em Aug. 16, 2020].
- [69] GLOBAL FASHION AGENDA, “CEO Agenda Redesigning Fashion’s Business Model,” *globalfashionagenda.com*, 2020. [Online]. Available: <https://bit.ly/30YBUfi>. [Acedido em Aug. 16, 2020].
- [70] P. G. de Gennes, F. Brochard-Wyart, and D. Quéré, *Capillarity and Wetting Phenomena: Drops, Bubbles, Pearls, Waves*. New York, NY: Springer, 2004.
- [71] W. Zhong, “Surface tension, wetting and wicking,” in *Thermal and Moisture Transport in Fibrous Materials*, Cambridge: Woodhead Publishing in Textiles, 2006, pp. 136–155.
- [72] C. Huh and S. G. Mason, “Effects of Surface Roughness on Wetting (theoretical),” *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 60, no. 1, pp. 11–38, 1997.
- [73] M. Morra, E. Occhiello, and F. Garbassi, “Knowledge about polymer surfaces from contact angle measurements,” *Advances in Colloid and Interface Science*, vol. 32, no. 1, pp. 79–116, 1990.
- [74] J. W. M. Bush, “MIT Lecture Notes on Surface Tension - Lecture 1,” *web.mit.edu*, 2017. [Online]. Available: <https://bit.ly/32bZXrd>. [Acedido em Aug. 16, 2020].
- [75] S. Ono and S. Kondo, “Molecular Theory of Surface Tension in Liquids,” in *Structure of Liquids*, Berlin: Springer, 1960, pp. 134-280.
- [76] USP, “Tensão superficial,” *edisciplinas.usp.br*, 2017. [Online]. Available: <https://bit.ly/2PXoZBp>. [Acedido em Aug. 16, 2020].
- [77] A. Patnaik, R. S. Rengasamy, V. K. Kothari, and A. Ghosh, “Wetting and Wicking in Fibrous Materials,” *Textile Progress*, vol. 38, no. 1, pp. 1–105, 2006.
- [78] D. Bonn, J. Eggers, J. Indekeu, J. Meunier, and E. Rolley, “Wetting and spreading,” *Reviews of Modern Physics*, vol. 81, no. 2, pp. 739–805, 2009.

- [79] W. Abdallah et al., “Fundamentals of Wettability,” *Oilfield Review*, vol. 19, pp. 44-61, 2007.
- [80] Y. Yuan and T. R. Lee, “Contact Angle and Wetting Properties,” in *Surface Science Techniques*, Berlin: Springer, 2013, pp. 3-34.
- [81] C. B. Simile, “Critical Evaluation of Wicking in Performance Fabrics,” M. S. thesis, Georgia Institute of Technology - School of Polymer, Atlanta, GA, 2004.
- [82] R. M. Fand, B. Y. K. Kim, A. C. C. Lam, and R. T. Phan, “Resistance to the Flow of Fluids Through Simple and Complex Porous Media Whose Matrices Are Composed of Randomly Packed Spheres,” *Journal of Fluids Engineering*, vol. 109, no. 3, p. 268, 1987.
- [83] E. Guyon, L. Petit, and P. J. Hulin, *Hydrodynamique physique*. Paris: EDP Sciences, 2001.
- [84] A. Hannoura and F. B. J. Barends, “Non-Darcy flow: a state of the art,” *Flow and Transport in Porous Media*, *Euromech.* 143, pp. 37–51, 1981.
- [85] L. R. B. S. Salvado, “Relationship between Spunbond Process, Structure and Properties of Nonwovens for Hygiene Applications,” Doctoral thesis, University Beira Interior, Portugal and University Haute Alsace, France, 2002.
- [86] A. Dybbs, *Proceeding of Workshop on Heat and Mass Transfer in Porous Media*, Case Western Reserve University, 1975.
- [87] J. Fuchs, “Capillary Flow,” *techblog.ctgclean.com*, 2015. [Online]. Available: <https://bit.ly/2CxVZQP>. [Acedido em Aug. 16, 2020].
- [88] K. Ghali, B. Jones, and J. Tracy, “Experimental Techniques for Measuring Parameters Describing Wetting and Wicking in Fabrics,” *Text. Res. J.*, vol. 64, no. 2, pp. 106–111, 1994.
- [89] C. B. Silva, “Comparativo das Propriedades de Transporte de Umidade, Capilaridade, Permeabilidade ao Vapor e Permeabilidade ao Ar em Tecidos Planos de Poliéster,” Doctoral thesis, UNICAMP, 2013.
- [90] N. Pan and W. Zhong, “Fluid Transport Phenomena in Fibrous Materials,” *Textile Progress*, vol. 38, no. 2, pp. 1–93, 2006.
- [91] M. Souza, “A multidisciplinaridade sistêmica como metodologia de ensino: Tensão Superficial e Capilaridade no contexto da Biologia,” M. S. thesis, UFRPE, 2016.
- [92] A. M. Schwartz, “Capillarity - Theory and Practice,” *Ind. Eng. Chem.*, vol. 61, no. 1, pp. 10–21, 1969.
- [93] W. E. Morton and J. W. S. Hearle, *Physical properties of textile fibers*, 4th ed. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2008.
- [94] A. Chatterjee and P. Singh, “Studies on Wicking Behaviour of Polyester Fabric,” *Journal of Textiles*, v. 2014. Available: <https://bit.ly/3iKj9CU>. [Acedido em Aug. 16, 2020].
- [95] Y. L. Hsieh, “Liquid Transport in Fabric Structures,” *Text. Res. J.*, vol. 65, no. 5, pp. 299–307, 1995.

- [96] K. Ghali, B. Jones, and J. Tracy, "Modeling moisture transfer in fabrics," *Exp. Therm. Fluid Sci.*, vol. 9, no. 3, pp. 330–336, 1994.
- [97] P. R. Harnett and P. N. Mehta, "A Survey and Comparison of Laboratory Test Methods for Measuring Wicking," *Text. Res. J.*, vol. 54, no. 7, pp. 471–478, 1984.
- [98] Atmospheric Humidity and the Moisture Content and Regain of Textile Materials, *Journal of the Textile Institute Proceedings*, 31:1, S3-S4, 1940.
- [99] S. Houshyar, R. Padhye, O. Troynikov, R. Nayak, and S. Ranjan, "Evaluation and improvement of thermo-physiological comfort properties of firefighters' protective clothing containing super absorbent materials," *J. Text. Inst.*, vol. 106, no. 12, pp. 1394–1402, 2015.
- [100] A. B. Nyoni and D. Brook, "Wicking mechanisms in yarns - the key to fabric wicking performance," *J. Text. Inst.*, vol. 97, no. 2, pp. 119–128, 2006.
- [101] Merriam-Webster Dictionary, "Adsorption," *merriam-webster.com*, 2020. [Online]. Available: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/adsorption>. [Acedido em Aug. 16, 2020].
- [102] M. Sarkar, J. Fan, and X. Qian, "Transplanar water transport tester for fabrics," *Meas. Sci. Technol.* v. 18 pp.1465–1471, 2007.
- [103] K. P. M. Tang, Y. S. Wu, K. H. Chau, C. W. Kan, and J. T. Fan, "Characterizing the transplanar and in-plane water transport of textiles with gravimetric and image analysis technique: Spontaneous Uptake Water Transport Tester," *Nature Sci. Rep.* 5, 9689, 2015.
- [104] British Standards Institution, "BS 3424-18:1986 - Testing Coated Fabrics - Part 18: Methods for 21A and 21B: Methods for Determination of Resistance to Wicking and Lateral Leakage to Air," pp. 1–12, 1986.
- [105] B. Miller, "Critical Evaluation of Upward Wicking Tests," *Int. Nonwovens J.*, vol. 9, pp. 35–40, 2000.
- [106] R. Fangueiro, A. Filgueiras, F. Soutinho, and X. Meidi, "Wicking Behavior and Drying Capability of Functional Knitted Fabrics," *Text. Res. J.*, vol. 80, no. 15, pp. 1522–1530, 2010.
- [107] V. R. Babu, C. V. Koushik, C. B. Lakshmikantha, and V. S. Subramanian, "Capillary rise in woven fabrics by electrical principle," *Indian J. Fibre Text Res.*, vol. 36, pp. 99–102, 2011.
- [108] F. Memariyan and E. Ekhtiyari, "Study on wicking measurement in thin layer textiles by processing digital images," *IJE Trans. A: Basics*, vol. 23, no. 1, pp. 101–108, 2010.
- [109] R. Morent, N. De Geyter, C. Leys, E. Vansteernkiste, J. De Bock, and W. Philips, "Measuring the wicking behavior of textiles by the combination of a horizontal wicking experiment and image processing," *Rev. Sci. Instrum.*, vol. 77, no. 9, 2006.
- [110] D. Raja, G. Ramakrishnan, V. R. Babu, M. Senthilkumar, and M. Sampath, "Comparison of different methods to measure the transverse wicking behaviour of fabrics," *J. Ind. Text.*, vol. 43, no. 3, pp. 366–382, 2012.

- [111] S. Kawabata, "Measurement of the Mechanical Properties of Fabrics," in *The Standardization and Analyses of Hand Evaluation*, 2nd ed. Osaka: The Textile Machinery Society of Japan, 1980, pp. 28–57.
- [112] American Society for Testing and Materials, "ASTM D3776/D3776M-09a(2017) - Standard Test Methods for Mass Per Unit Area (Weight) of Fabric," 2017, pp. 1-5.
- [113] Technical Association of the Pulp and Paper Industry, "TAPPI 4410m-90 - Water absorbiveness of sized (non-bibulous) paper and paperboard (Cobb test)," 1960, pp. 1–3.
- [114] International Standardization Organization, "ISO 535-1976 (F) - Papier et carton - Détermination de l'absorption d'eau - Méthode de Cobb," 1976, pp. 1–2.
- [115] H. Gu, "Research on the improvement of the moisture absorbency of naturally self-coloured cotton," *J. Text. Inst.*, vol. 96, no. 4, pp. 247–250, 2005.
- [116] International Standardization Organization, "ISO 8787 - Paper and board - Determination of capillary rise - Klemm method," 1986, pp. 1–2.
- [117] Associação Brasileira de Normas Técnicas, "NBR 10591 - Materiais têxteis: Determinação da gramatura de tecidos," 1988, pp. 1–3.
- [118] G. Megersa and J. Abdullahi, "Irrigation system in Israel: a review," *Int. J. Water Resour. Environ. Engineering*, vol. 7, no. 3, pp. 29–37, 2015.
- [119] ABIPET, "Décimo censo da reciclagem de PET no Brasil," *abipet.org.br*, 2020. [Online]. Available: <https://bit.ly/3iMLdpf>. [Acedido em Aug. 16, 2020].
- [120] University of Washington, "Soda Bottle Wick Irrigation," *washington.edu*, 2017. [Online]. Available: <https://bit.ly/347jzPQ>. [Acedido em Aug. 16, 2020].
- [121] UTOPIA. Técnicas de Captação e Uso da Água do Semiárido Brasileiro, v. II - Canteiros Econômicos em Água, 2007. [Online]. Available: <https://bit.ly/32ohhPt>. [Acedido em Aug. 16, 2020].

ANEXO I
CARTILHA DO BALDECAP 2

Quem criou o Baldecap 2?

Este balde foi idealizado pela pesquisadora Nicéa Ribeiro do Nascimento em sua tese de Doutorado em Engenharia Têxtil na Universidade da Beira Interior, em Portugal. Neste estudo, utilizou resíduos têxteis sintéticos para desenvolver dispositivos de apoio à agricultura familiar no semiárido brasileiro. Assim, idealizou, entre outros dispositivos, o Baldecap 2, que utiliza o princípio do transporte de água por capilaridade, em meios porosos. Os pavios foram feitos de resíduos têxteis (malhas) e mantêm a terra húmida, economizando a água que é pouca e preciosa no semiárido, aumentando a produtividade e reduzindo a mão-de-obra para manutenção do plantio.

O Baldecap 2 é uma tecnologia social, que pode ser construída pelos próprios usuários e replicada para outras comunidades. Simples, barato e muito efetivo. Por utilizar materiais plásticos e resíduos têxteis sintéticos, tem uma durabilidade muito grande (indeterminada).

Materiais e custo para construção do Baldecap 2

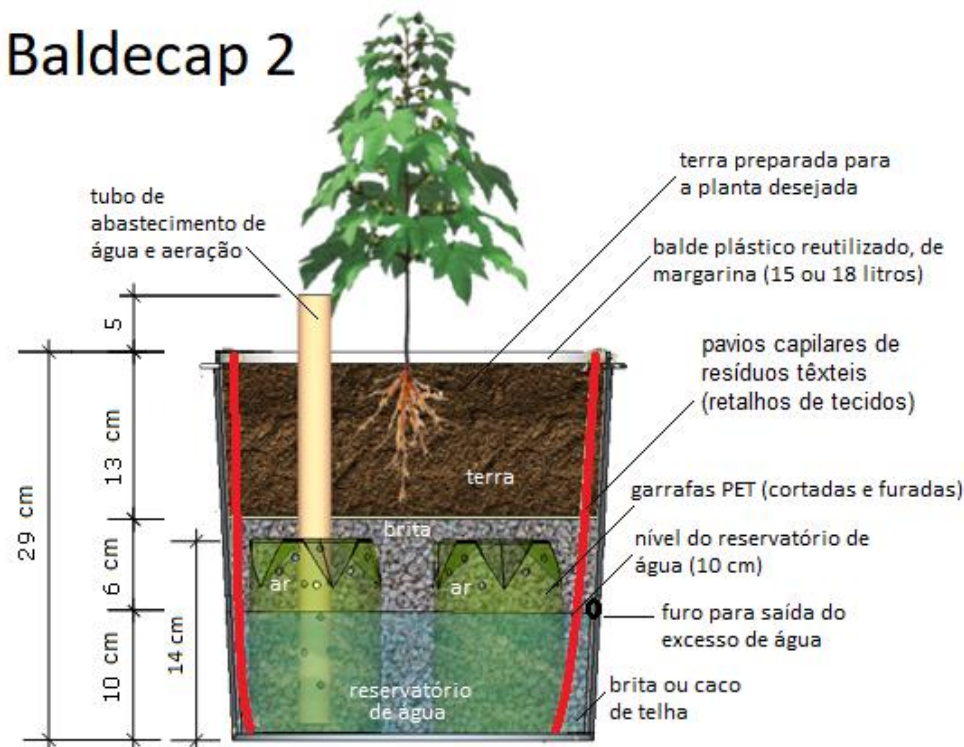
Item	Descrição	Quant/ unid	Total (R\$)	Observação
1	Balde plástico (15 ou 18 litros)	1 un	4.00	Reaproveitado do lixo ou reutilizado de recipientes plásticos usados (balde de margarina). Em último caso, pode ser comprado, a baixo custo.
2	Tubo PVC com 20 mm de diâmetro	40 cm	0.80	Reaproveitado do lixo, reutilizado ou comprado em lojas de materiais de construção.
3	Garrafas PET de 2L	5 un	0.60	Reaproveitadas do lixo, recolhidas ou compradas de cooperativa de catadores.
4	Pedaços de resíduos têxteis sintéticos (malhas ou tecido microfibras)	8 pedaços de 40 cm x 3 cm	-	Doados por empresa de confecção, principalmente de moda praia e de <i>lingerie</i> ; ou reaproveitados de roupas velhas.
5	Brita Nº 1 ou cacos de telhas	3 litros	-	Recolhida de entulhos de construção (reaproveitada do lixo).
6	Terra preparada (50% areia grossa, 25% terra preta, 25% barro)	7 litros	-	Não foi considerado o custo da terra preparada, porque deve ser providenciada pelo usuário do balde, com formulação para cada cultura específica.
TOTAL (R\$)			5,40	
TOTAL (€)*			0.83	

(*) Câmbio considerado: 1 € = R\$ 6,49.

ANEXO I Baldecap 2

Um balde inteligente, que se irriga sozinho e onde pode plantar hortaliças, ervas medicinais e muito mais!

Baldecap 2



Construa este balde reutilizando materiais simples que, de outra forma, iriam para o lixo e tenha sua própria horta sem gastar quase nada e necessitando de pouca irrigação e manutenção!

Além disso, ao utilizar o Baldecap 2 contribui para reduzir a poluição ambiental!

O que é e como funciona o Baldecap 2?

O Baldecap 2 é um dispositivo de baixo custo e de fácil construção, criado para facilitar o cultivo de hortaliças, ervas medicinais e plantas pequenas em pequenos espaços, ideal para quintais produtivos na agricultura familiar e na agricultura urbana.

Este balde utiliza o princípio da irrigação por capilaridade, através de têxteis, para manter a terra húmida e evitar a necessidade de irrigação diária. Além disso, permite a aeração do solo e reduz a compactação da terra, fazendo com que as plantas cresçam mais rápido.

Quais os materiais necessários para a construção do Baldecap 2?

Materiais e ferramentas para construção do Baldecap 2



Quais tecidos ou malhas podem ser utilizados para os pavios?

Os pavios podem ser feitos de tecidos ou malhas sintéticas, preferencialmente as que são utilizadas nas confeções de moda praia e *lingerie*, além de tecidos tipo microfibra.

Qual o custo do Baldecap 2?

O custo pode ser zero, caso reutilize materiais que, se não, iriam para o lixo. Comprando o balde e um pedaço de tubo, o custo é de aproximadamente R\$ 5,40. As ferramentas (ferro de solda, tesoura, estilete e fita métrica) custam cerca de R\$ 35,00. A referência destes preços é de setembro de 2020.

Testes de germinação no Baldecap 2

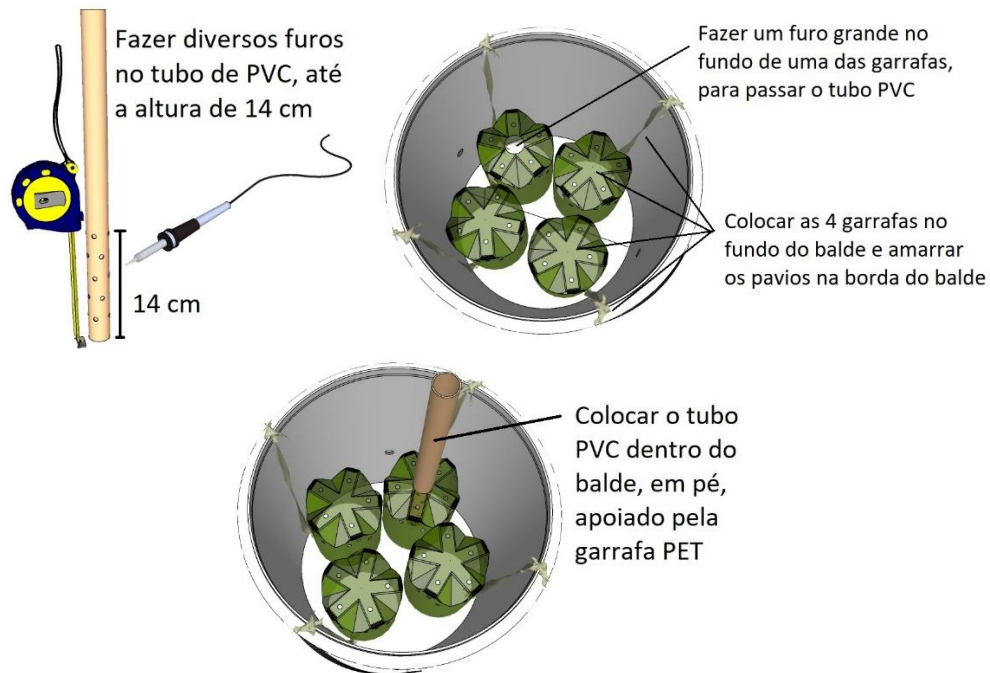


Feijão macassar, 3 semanas de plantio no BC2, (50 cm de altura)



Fava, 15 dias de plantio no BC2





Para encher o balde:

- brita ou caco de telha, até 16 cm;
- completar com a terra;
- opcional: colocar o disco de tecido entre a brita e a terra, para evitar que a terra desça para o fundo;
- após o plantio, fazer uma rega inicial, por cima;
- encher o reservatório inferior, pelo tubo PVC, até a água sair pelo furo-ladrão.

Está pronto o Baldecap 2!

A utilização de pavios têxteis para a irrigação subterrânea por capilaridade permite uma economia de água, mantendo o solo húmido por muito mais tempo do que um vaso normal, sendo necessário apenas o reabastecimento semanal do reservatório de água.

O processo de aeração da terra, reduzindo também sua compactação, combinado com a manutenção da humidade decorrente da irrigação por capilaridade, acelera a germinação e desenvolvimento das plantas.

Fotos de uma oficina de construção do Baldecap 2



Fotos de uma oficina de construção do Baldecap 2, de 4 e 8 pavios têxteis



Detalhes da construção do Baldecap 2

