

IRRIGAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR

*A Tecnologia de Irrigação, seu Potencial de
Crescimento no Brasil e sua Legislação*



GRUPO DE IRRIGAÇÃO
E FERTIRRIGAÇÃO DE
CANA-DE-AÇÚCAR

IRRIGAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR

*A Tecnologia de Irrigação, seu Potencial de
Crescimento no Brasil e sua Legislação*

Grupo de irrigação e Fertirrigação de Cana-de-açúcar (GIFC), 2023.
Av. Cezira Giovanoni Moretti, no 655, Reserva Jequitibá
CEP 13.414-157, Piracicaba, SP
www.gifc.com.br

Autores:

André Elia Neto (ELIA – Gestão e Educação Ambiental)
Bartira Elia (ELIA – Gestão e Educação Ambiental)
Carlos Alberto Barth Freitas (NaanDanJain)
Clebio Santo Matioli (MATIOLI Projetos e Consultoria)
Daniel Botelho Pedroso (Netafim)
Júlio César Naves Batista da Silveira (Usina Alta Mogiana)
Leandro Renato Giunzioni Lance (NaanDanJain)
Marcelo Ferrero (Raesa)
Miguel Ângelo Nappo Guazzelli (Hidro Ambiental)
Osvaldo Arce de Brito (Hidroeng Consultoria e Projetos de Irrigação e Fertirrigação)
Pedro Elia (Microgeo)
Raffaella Rossetto (Centro de Cana-de-açúcar – IAC/ Apta/ SAA)
René de Assis Sordi (Enercana)
Thiago Franzol Pilon (Usina Santa Maria)
Vinícius Bof Bufon (Embrapa)
Wilson Roma (IrrigaEngenharia)

Colaboradores:

Alécio Cantagalo Junior (Bevap)
Dálisson Souza (Bevap)
Elis Marina de Freitas (Embrapa)
Thiago Aristides Quintino (Raízen)
Thácio Alves Costa de Arruda (Tietê Agroindustrial)

Revisores Técnicos:

Alexandre Dalri (Professor UNESP)
José Geanini Peres (Professor UFSCar)
Rubismar Stolf (Professor UFSCar)

Ilustradora:

Carolina Copa Velasquez

Todos os direitos reservados. É permitida a reprodução de dados e de informações contidos nesta publicação, desde que citada a fonte.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

G892i

Grupo de Irrigação e Fertirrigação de Cana-de-açúcar
Irrigação de cana-de-açúcar : a tecnologia de irrigação, seu
potencial de crescimento no Brasil e sua legislação / Grupo de
Irrigação e Fertirrigação de Cana-de-açúcar. – Piracicaba, SP: GIFC,
2023.

256 p. : il. color. ; 29,7 cm.

Inclui bibliografia.

ISBN 978-85-53156-69-6

1. Cana-de-açúcar – Irrigação agrícola. 2. Cana-de-açúcar –
Adubos e fertilizantes. 3. Cana-de-açúcar – Irrigação e drenagem. I.
Título.

CDD: 631.587

CDU: 633.61

Eliane de Freitas Ferreira – CRB 7/5206

Índice para catálogo sistemático:

1. Cana-de-açúcar : Irrigação agrícola - 631.58

**GIFC – GRUPO DE IRRIGAÇÃO E FERTIRRIGAÇÃO
DE CANA-DE-AÇÚCAR**

IRRIGAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR

**A Tecnologia de Irrigação, seu Potencial de
Crescimento no Brasil e sua Legislação**

**JANEIRO
2023**

AUTORES

André Elia Neto
ELIA – Gestão e Educação Ambiental

Bartira Elia
ELIA – Gestão e Educação Ambiental

Carlos Alberto Barth Freitas
NaanDanJain

Clebio Santo Matioli
MATIOLI Projetos e Consultoria

Daniel Botelho Pedroso
Netafim

Júlio César Nunes Batista da Silveira
Usina Alta Mogiana

Leandro Renato Giunzioni Lance
NaanDanJain

Marcelo Ferrero
Raesa

Miguel Ângelo Nappo Guazzelli
Hidro Ambiental

Osvaldo Arce de Brito
Hidroeng Consultoria e Projetos

Pedro Elia
Microgeo

Raffaella Rossetto
Centro de Cana – IAC/ Apta/ SAA

René de Assis Sordi
Enercana

Thiago Franzol Pilon
Usina Santa Maria

Vinícius Bof Bufon
Embrapa

Wilson Roberto Roma
IrrigaEngenharia

COLABORADORES

Alécio Cantagalo Junior
Bevap

Dálisson Souza
Bevap

Elis Marina de Freitas
Embrapa

Thiago Aristides Quintino
Raízen

Thácio Alves Costa de Arruda
Tietê Agroindustrial

REVISORES TÉCNICOS

Alexandre Dalri
Professor UNESP

José Geanini Peres
Professor UFSCar

Rubismar Stolf
Professor UFSCar

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 2 – NECESSIDADES HÍDRICAS	7
2.1 Aptidão agrícola de áreas para cana-de-açúcar no Brasil	7
2.2 Mapeamento da Necessidade de Irrigação no Brasil	9
2.3 Mudanças climáticas	12
2.4 Cenário atual da Irrigação no Brasil	13
2.5 Necessidade hídrica da cana	15
2.6 Balanço hídrico.....	19
2.7 Variedades e sua resposta à irrigação	21
CAPÍTULO 3 – MANEJO DE IRRIGAÇÃO	29
3.1 Lâminas de Irrigação	29
3.2 Sistemas de Monitoramento	31
3.2.1 Estação Meteorológica	31
3.2.2 Lisímetro	32
3.2.3 TDR	32
3.2.4 Tensiômetro	32
3.3 Etapas de irrigação de cana planta e cana soca	36
3.3.1 Viveiros.....	36
3.3.2 Irrigação de plantio	47
3.4 Dry off.....	56
3.5 Plano de Manejo de Irrigação.....	58
CAPÍTULO 4 – SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO	59
4.1 Aspersão convencional	59
4.1.1 As configurações do sistema de aspersão convencional	60
4.1.2 A seleção do aspersor	62
4.1.3 Principais Aplicações da Irrigação por Aspersão	64
4.1.4 Vantagens e Desvantagens da Irrigação por Aspersão	66
4.2 Sistema Aspersão via conjunto carretel enrolador autopropelido.....	66
4.2.1 Vantagens e Desvantagens da Irrigação por Aspersão	73
4.3 Pivô Central.....	73
4.3.1 Vantagens e Desvantagens da Irrigação por Pivô Central	81
4.4 Sistema Linear	82
4.4.1 Vantagens e Desvantagens da Irrigação por Sistema Linear.....	83
4.5 Gotejamento	83
4.5.1 Projeto de Gotejamento.....	84
4.5.2 Componentes específicos do Sistema de Gotejamento	85
4.5.3 Injeção de Vinhaça via gotejamento.....	90

4.5.5 Nutrirrigação de Cana Soca	92
4.5.6 Características dos fertilizantes utilizados no gotejamento	93
4.5.7 Vantagens e Desvantagens da Irrigação por Gotejamento	94
CAPÍTULO 5 – PROJETOS DE IRRIGAÇÃO	97
5.1. Premissas de Projeto	97
5.1.1 Área Irrigada.....	97
5.1.2 Sistema de Irrigação.....	98
5.1.3 Vazão requerida	98
5.1.4. Topografia	98
5.1.5. Definição de dados técnicos/operacionais e layout	99
5.1.6. Informações Complementares	102
5.1.7. Dimensionamento Hidráulico.....	102
5.2. Projeto detalhado	103
5.2.1 Sistema de Captação e bombeamento	103
5.2.2 Ponto de Captação.....	103
5.2.3 Estação de bombeamento.....	104
5.2.4 Sistema de Tratamento e Armazenamento Águas	108
5.2.5 Armazenamento pulmão	112
5.2.6 Sistema de Adução	115
5.2.7 Tubulações.....	116
CAPÍTULO 6 – AMBIENTAL	121
6. 1 Panorama dos Recursos Hídricos.....	122
6.1.1 Recursos Hídricos no Mundo	123
6.1.2 Recursos Hídricos no Brasil	125
6. 2 Impactos ambientais da irrigação.....	128
6.2.1 Impactos a montante	130
6.2.2 Impactos a jusante - qualidade da água devolvida a bacia	130
6.2.3 Impactos na área irrigada.....	131
6.3 Legislação Ambiental sobre Irrigação.....	137
6.3.1 Política Nacional de Recursos Hídricos.....	138
6.3.2 Política Nacional de Irrigação.....	141
6.3.2 Estudo de Impacto Ambiental (EIA/Rima)	142
6.3.3 Licenciamento de Projetos de Irrigação	143
6.3.4 Outorga de Direito de Uso da Água.....	146
6.3.4 Outorga e Segurança de Barramento.....	157
6.3.5 Pagamento pelo Uso da Água.....	170
6.3.6 Código Florestal	179
6.3.7 Reúso de Água para Irrigação.....	181

6.3.8 Enquadramento e Classificação dos corpos de água.....	183
6.4 Considerações da Legislação da Irrigação e seus Desafios	186
CAPÍTULO 7 – CASOS DE SUCESSO DE IRRIGAÇÃO.....	191
7.1 Gotejamento mais antigo do país.....	191
7.2 Gotejamento subterrâneo em solo argiloso.....	194
7.3 Gotejamento para estabilizar a produção e economizar água	198
7.4 Alas Móveis para o plantio de mudas pré-brotadas	201
7.5 Pivô na Bioenergética Vale do Paracatu – Bevap	205
7.6 Carretel Enrolador para salvamento	209
7.7 Gotejamento Móvel em mudas pré brotadas.....	222
7.8 Gotejamento em fornecedor de cana do Noroeste Paulista	224
7.9 Gotejamento na Usina Da Mata	226
CAPÍTULO 8 – BIBLIOGRAFIA.....	235

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução da produtividade de cana-de-açúcar no Brasil (Fonte: CONAB, 2020).	1
Figura 2 - Distribuição da área irrigada/fertirrigada (Fonte: Programa Cana IAC, 2019).	2
Figura 3 - Distribuição da área irrigada/fertirrigada por região (Fonte: Programa Cana IAC, 2019).	3
Figura 4 - Perfil climático da Região Centro-Sul do Brasil (Fonte: Programa Cana IAC, 2019).	3
Figura 5 - Correlação do déficit hídrico com a produtividade de cana (Fonte: Cana Consultoria, 2018).	5
Figura 6 - Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar – Áreas aptas por classes de uso e aptidão (Fonte: MANZATO et al., 2009).	8
Figura 7 - Necessidade de irrigação de cana no Brasil (Fonte: CANA PEDE ÁGUA, 2010).	9
Figura 8 - Deficiência Hídrica média para cana - média histórica (1997 a 2012) e período recente (2014 a 2019) (Fonte: ANA).	11
Figura 9 - Fases de desenvolvimento da cana-de-açúcar (Ilustração: Velasquez).	17
Figura 10 – Esquema ilustrativo do crescimento radicular da cana-de-açúcar em função do tempo (Ilustração: Velasquez).	18
Figura 11 - Ciclo da água e compartimentos solo-planta-atmosfera (Ilustração: Velasquez).	19
Figura 12 - Produtividade potencial média da cana-de-açúcar nas micro regiões brasileiras (fonte: MONTEIRO, 2015).	27
Figura 13 - Saturação da cápsula em projeto de irrigação da Netafim, Passos de Minas (fotos de Daniel Pedroso, 2007).	34
Figura 14 - Tradagem em projeto de irrigação da Netafim, Passos de Minas (foto de Daniel Pedroso, 2007).	34
Figura 15 - Adição de água após tradagem em projeto de irrigação da Netafim, Passos de Minas (foto de Daniel Pedroso, 2007).	34
Figura 16 - Instalação dos tensiômetros em projeto de irrigação da Netafim, Passos de Minas (foto de Daniel Pedroso, 2007).	34

Figura 17 - Completar o tensiômetro com água em seu interior. Projeto de irrigação da Netafim, Passos de Minas (foto de Daniel Pedroso, 2007).	34
Figura 18 - Tensiômetros analógicos (à esquerda) e digital (à direita) em projetos de irrigação. (foto de Daniel Pedroso, Netafim, Bariri – SP, 2011 e 2020).	1
Figura 19 - Guilhotina para corte dos minis rebolos em projeto de irrigação da Netafim, Brasilândia de Minas, MG (foto de Daniel Pedroso, 2007).	37
Figura 20 - Acondicionamento dos minis rebolos nas caixas de brotação em projeto de irrigação da Netafim, Brasilândia de Minas, MG (foto de Daniel Pedroso, 2007).	37
Figura 21 - Fase 1. Desenvolvimento das plântulas em casa de vegetação. Projeto de irrigação da Netafim, Brasilândia de Minas, MG (foto de Daniel Pedroso, 2007).	38
Figura 22 - Fase 2. Processo de rusticificação em pleno sol. Projeto de irrigação da Netafim, Brasilândia de Minas, MG (foto de Daniel Pedroso, 2007).	38
Figura 23 - Plantio manual (matraca) de MPB.	39
Figura 24 - Plantio mecanizado de MPB.	39
Figura 25 - Irrigação ao 1 DAP (dia após plantio) – Piracicaba, SP.	40
Figura 26 - Número de colmos por metro e falha do canavial aos 206 DAP.	41
Figura 27 - Layout de irrigação localizada em Cantose.	42
Figura 28 - Layout de irrigação localizada em Meiosi.	43
Figura 29 - Faixose realizada na região de São Joaquim da Barra, SP (2020).	44
Figura 30 - Faixose realizada na região de São Joaquim da Barra, SP (2020).	44
Figura 31 - Faixose realizada na região de São Joaquim da Barra, SP (2020).	45
Figura 32 - Faixose realizada na região de São Joaquim da Barra, SP (2020).	45
Figura 33 - Produção de Mudanças – Meiosi e Cantose na região de São Joaquim da Barra, SP (2020).	46
Figura 34 - Caminhão pipa adaptado para irrigação em faixose ou meiosi.	46
Figura 35 - Fotos de um sistema de irrigação por gotejamento móvel para MPB (local: Lins - SP, foto: Daniel Pedroso – Netafim).	47
Figura 36 - Pivô para irrigação em MPB.	47
Figura 37 - Irrigação pré-preparo do solo.	49
Figura 38 - Irrigação pré-plantio da cana.	50
Figura 39 - Irrigação pós-plantio da cana.	51
Figura 40 - Irrigação pós-plantio da cana por alas móveis (Foto: Raesa).	51
Figura 41 - Irrigação pós-plantio da cana.	52
Figura 42 - Irrigação de Cana Soca, Brasilândia de Minas, MG (Foto: Daniel Pedroso, Netafim).	53
Figura 43 - Irrigação de Cana Soca, Brasilândia de Minas, MG (Foto: Daniel Pedroso, Netafim).	54
Figura 44 - Irrigação de Cana Soca, Brasilândia de Minas, MG (Foto: Daniel Pedroso, Netafim).	54
Figura 47 - Irrigação Cana Soca: Salvamento.	55
Figura 48 - Irrigação de Salvamento.	55
Figura 49 - Evolução dos índices de maturação a partir dos 51 dias antes da colheita e épocas de interrupção da irrigação para cada tratamento. (Fonte: VIEIRA & DELIZARDI, 2013).	57
Figura 50 – Fluxo de movimentação das tubulações no sistema móvel.	61
Figura 51 – Layout do sistema fixo de irrigação.	62
Figura 52 - Layout do sistema fixo por faixa de irrigação.	62
Figura 53 – Perfil de distribuição do aspersor 5035 SD - 1880 L/H.	63

Figura 54 - Simulador do Aspersor 5035SD 1880 LITROS - ESPAÇAMENTO 21m x 21m - CU = 90% DU 86% - 4.3 mm/h.	63
Figura 55 - Irrigação em canavial durante o período de maior déficit hídrico (Foto: Raesa).	64
Figura 56 - Aspersão garantindo a brotação pós colheita (Foto: Raesa).	64
Figura 57 - Aspersão móvel garantindo o pagamento de mudas pré brotadas (Foto: Raesa).	65
Figura 58 - Aspersão com alas moveis garantindo o plantio (Foto: Raesa)	65
Figura 59 - Estação de Bombeamento Móvel.	67
Figura 60 - Adutora móvel de Alumínio.	68
Figura 61 - Conjunto Carretel Enrolador.	68
Figura 62 - Aspersor em funcionamento.	69
Figura 63 – Canhão aspersor acoplado à mangueira do carretel enrolador.	69
Figura 64 - Exemplo de Frente padrão de Irrigação por aspersão, com 2 conjunto carretéis operando e 1 em espera.	70
Figura 65 - Sistema monitoramento da operação.	71
Figura 66 - Paine de monitoramento no trator.	71
Figura 67 - Antena de transmissão de dados no trator.	71
Figura 68 - Mapa de Paralelismo entre posições.	71
Figura 69 - Monitoramento da operação.	71
Figura 70 – Aspersão com barra irrigadora acoplada a rolô.	72
Figura 71 - Detalhe dos aspersores da barra irrigadora.	72
Figura 72 - Sistema pivô central plantio circular.	75
Figura 73 - Sistema pivô central instalado sobre a cultura da cana-de-açúcar.	76
Figura 74 - Sistema pivô central instalado sobre a cultura da cana-de-açúcar.	76
Figura 75 - Sistema pivô central rebocável sendo preparado para reboque.	77
Figura 76 - Sistema pivô central rebocável sendo preparado para reboque.	77
Figura 77 - Sistema pivô central rebocável sendo preparado para reboque.	78
Figura 78 - Sistema pivô central rebocável sendo rebocado.	78
Figura 79 - Sistema pivô central rebocável sendo rebocado.	79
Figura 80 - Sistema pivô central com aspersor tipo “canhão” no final.	79
Figura 81 - Operação de fertirrigação via sistema pivô central.	80
Figura 82 - Operação de fertirrigação via sistema pivô central.	80
Figura 83 – Detalhe do Sistema pivô central.	81
Figura 84 - Detalhe de um sistema linear de irrigação (Foto: Clebio Matioli).	82
Figura 85 – Detalhe do tubo gotejador.	84
Figura 86 – Operação de enterrando de tubo de gotejo em Ribeirão Preto – Netafim (Foto: Daniel Pedroso).	87
Figura 87 – Operação de enterrando de tubo de gotejo, Fazenda São Romão – NaanDanJain.	87
Figura 88 - Conjunto de filtragem de areia em Ribeirão Preto (Foto: NaanDanJain).	88
Figura 89 - Conjunto de filtragem de areia em Ribeirão Preto (Foto: Daniel Pedroso).	88
Figura 90 - Reservatório de sedimentação com aerador para pré-tratamento da água (Foto: NaanDanJain).	89
Figura 91 - Tanque de solubilização de fertilizantes com soprador (Foto: Daniel Pedroso).	89
Figura 92 - Identificação da marcha de absorção de nutrientes da cana-de-açúcar por gotejamento. Fonte: Oliveira et al (2017).	92
Figura 93 - Solubilidade de alguns fertilizantes.	94
Figura 94 - Canavial irrigado por gotejamento (Foto: NaanDanJain).	95

Figura 95 - Canavial irrigado por gotejamento (Foto: NaanDanJain).	95
Figura 96 - Canavial irrigado por gotejamento (Foto: Daniel Pedroso - Netafim).	96
Figura 97 - Canavial irrigado por gotejamento na região de Ribeirão Preto (Foto: Daniel Pedroso).	96
Figura 98 - Layout básico projeto aspersão.	100
Figura 99 - Layout básico projeto gotejo.	101
Figura 100 - Layout básico projeto pivô.	101
Figura 101 - Layout básico projeto Carretel.	102
Figura 102 - Esquemático de sistema de sucção positiva e negativa (ou afogada).	104
Figura 103 – Captação flutuante.	105
Figura 104 – Detalhe do Painel da EB.	105
Figura 105 – Sucção negativa de captação de água.	106
Figura 106 – Sucção negativa de captação de água em tanque revestido.	106
Figura 107 – Sucção flutuante em tanque revestido.	107
Figura 108 – Estação de bombeamento de um sistema de irrigação por gotejamento.	107
Figura 109 – Foto aérea em planta de uma estação de bombeamento.	108
Figura 110 – Aerador de bandeja (Foto: Leandro Lance).	111
Figura 111 – Tanque de decantação (Foto: Daniel Pedroso).	112
Figura 112 – Armazenamento impermeabilizado com geomembrana e cerca para segurança e proteção (Foto: Carlos Barth).	114
Figura 113 – Esquema de uma Adutora por Gravidade.	115
Figura 114 – Planta do Caminhamento da Adutora.	116
Figura 115 – Tubulação de PRFV + PVC (Foto: IrrigaEngenharia).	118
Figura 116 – Detalhes do projeto de adutora.	119
Figura 117 – Instalação de adutora no campo.	119
Figura 118 – Simulador de funcionamento de adutora.	120
Figura 119 – Desenho da instalação conforme realizada em campo.	120
Figura 120 – Evolução da água captada no planeta por setor (Fonte: Aqueduct/WRI, in: OTTO, B. & SCHKEUFER, L., 2020).	124
Figura 121 – Distribuição do uso de água no mundo por atividade (WRI, 2005/FAO 2003, apud ELIA NETO <i>et al.</i> , 2009).	125
Figura 122 – Distribuição relativa dos recursos hídricos, da população e do território brasileiro (adaptado de dados do DNAEE, 1992 citado por UNIAGUA, 2007, apud ELIA NETO 127	
Figura 123 – Diagrama para classificação de águas para irrigação (RICHARDS, 1954, apud SILVA <i>et al.</i> , 2011).	135
Figura 124 – Esquema simplificado para se enquadrar a barragem no PNSB (adaptado de: ANA, 2017, apud SIMA, 2019).	161
Figura 125 – Mapas da cobrança pelos recursos hídricos da União e dos Estados (Fonte: ANA, 2019a).	174
Figura 126 – Comparação do preço médio da cobrança pelos recursos hídricos da União (Fonte: ANA, 2019a).	177
Figura 127 – Teotônio Vilela – AL (Foto: Daniel Pedroso – Netafim).	192
Figura 128 – Teotônio Vilela – AL (Foto: Daniel Pedroso – Netafim).	192
Figura 129 – Resultado de TCH por safra – variedade SP 79 1011.	193
Figura 130 – Iturama – MG (Foto: Daniel Pedroso – Netafim).	195
Figura 131 – Iturama – MG (Foto: Daniel Pedroso – Netafim).	196
Figura 132 – Resultado de TCH por safra no projeto Solange – RB 85 5453.	196

Figura 133 – Resultado de TCH por safra no projeto Nogueira antes da reforma – variedade SP 79 1011.	197
Figura 134 – Resultado de TCH por safra no projeto Nogueira após a reforma – Variedade RB 92 579.	197
Figura 135 – Iturama – MG (Foto: Daniel Pedroso – Netafim).	199
Figura 136 – Iturama – MG (Foto: Daniel Pedroso – Netafim).	200
Figura 137 – Resultado de TCH por safra - variedade RB 92 579.	200
Figura 138 – Mapa da área do projeto de irrigação por alas móveis, Fazenda Santana.	202
Figura 139 – Início da irrigação.	203
Figura 140 – Manutenção da lâmina de molhamento.	203
Figura 141 – Após a terceira lâmina: 99% pagamento.	204
Figura 142 – Após a terceira lâmina: 99% pagamento.	204
Figura 143 – Déficit hídrico da região de João Pinheiro – MG.	205
Figura 144 – Déficit hídrico acumulado da região de João Pinheiro – MG.	206
Figura 145 – Dados de produtividade (TCH e TAH) do pivô comparado a sua testemunha.	207
Figura 146 – Áreas de irrigação por pivô (Fonte: Google Earth).	207
Figura 147 – Área irrigada por pivô (Fonte: Bevap).	208
Figura 148 – Área irrigada por pivô (Fonte: Bevap).	208
Figura 149 – Efeito da irrigação de salvamento e da manutenção da palhada na conservação da água no solo e na produtividade da cana-de-açúcar, variedade SP79-1011, em Goianésia-GO (Adaptado de OLIVEIRA <i>et al.</i> , 1999).	213
Figura 150 – Efeito da irrigação de salvamento e da manutenção da palhada na produtividade de açúcar, variedade SP79-1011 t ha ⁻¹ em Goianésia-GO. (Adaptado de OLIVEIRA <i>et al.</i> , 1999).	213
Figura 151 – Influência de lâminas crescentes de irrigação de salvamento na produtividade de colmos da cana-de-açúcar, variedade RB845257, em Goianésia-GO. (Fonte: Rogério Bremm – dados não publicados).	214
Figura 152 – Influência de lâminas crescentes de irrigação de salvamento na produtividade de açúcar, da variedade RB845257, em Goianésia-GO. (Fonte: Rogério Bremm – dados não publicados).	215
Figura 153 – Efeito do parcelamento da irrigação de salvamento na produtividade de colmos (t ha ⁻¹) da variedade RB845257 na usina Jalles Machado S.A., município de Goianésia, Goiás (dados não publicados). Fonte: Rogério A. B. Gomes.	216
Figura 154 – Efeito do parcelamento da irrigação de salvamento na produtividade de açúcar (t pol ha ⁻¹) da variedade RB845257 na usina Jalles Machado S.A., município de Goianésia, Goiás (dados não publicados). Fonte: Rogério A. B. Gomes.	216
Figura 155 – Efeito da irrigação de salvamento (40 mm) sob a evolução da população de colmos (nº colmos.m ⁻¹) na média de 16 variedades de cana-de-açúcar em Goianésia-GO.	217
Figura 156 – Efeito da irrigação de salvamento (40 mm) sob a perda de população de colmos por safra (nº colmos.m ⁻¹ .safra ⁻¹), na média de duas safras e 16 variedades de cana-de-açúcar, em Goianésia-GO.	217
Figura 157 – Efeito do momento de aplicação de 40 mm de salvamento (7, 14 ou 28 dias após a colheita) sob a evolução da população de colmos (nº colmos.m ⁻¹), ao longo de três safras, e na média de 12 variedades de cana-de-açúcar, em Goianésia-GO.	218

Figura 158 – Efeito do momento de aplicação de 40 mm de salvamento (7, 14 ou 28 dias após a colheita) sob a perda de população de colmos por safra (n° colmos.m ⁻¹ .safra ⁻¹), na média de três safras e 12 variedades de cana-de-açúcar, em Goianésia-GO.	218
Figura 159 – Resultado do projeto de gotejamento em 5 meses, de julho a outubro de 2022. (Fonte: NaanDanJain).	222
Figura 160 – Kit de gotejamento móvel instalado. (Fonte: NaanDanJain).	223
Figura 161 – Tubo gotejadores móveis em projeto de irrigação de MPB. (Fonte: STA Tech Cana).	223
Figura 162 – Área do projeto de gotejamento. (Fonte: NaanDanJain).	224
Figura 163 – Resultados do projeto de gotejamento em 5 meses, de junho a outubro de 2022. (Fonte: NaanDanJain).	225
Figura 164 – Resultados do projeto de gotejamento em 6 meses, de junho a novembro de 2022. (Fonte: NaanDanJain).	225
Figura 165 – Histórico pluviométrico Da Mata 2021-2022 (Fonte: Da Mata).	226
Figura 166 – Programação das outorgas para 3.600 ha, Da Mata. (Fonte: NaanDanJain).	227
Figura 167 – Implantação em grandes módulos, Da Mata. (Fonte: NaanDanJain e Da Mata).	227
Figura 168 – Mostra do sistema radicular, Da Mata. (Fonte: NaanDanJain).	228
Figura 169 – Detalhes das válvulas de limpeza nos finais de linha. (Fonte: NaanDanJain).	229
Figura 170 – Controlador Gavish integrado com o monitoramento climático e imagens. (Fonte: NaanDanJain).	229
Figura 171 – “Fábrica” de fertilizantes em cada estação de bombeamento. (Fonte: NaanDanJain).	230
Figura 172 – Conservação do solo e otimização hidráulica. (Fonte: NaanDanJain).	230
Figura 173 – Aplicação de vinhaça e água residuária no sistema de irrigação após passar por um filtro BAG. (Fonte: NaanDanJain).	231
Figura 174 – Implantação de mudas pré brotadas. (Fonte: NaanDanJain).	231
Figura 175 – Reservatório adicional para decantar a água da retro lavagem, Da Mata à direita e Usina localizada em Goiás à esquerda. (Fonte: NaanDanJain).	232
Figura 176 – Tubos com a faixa verde, indicando a fabricação a partir de resina oriunda da cana-de-açúcar. (Fonte: NaanDanJain).	232

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - TCH em função do CAD para tipos de solo (Fonte: Programa Cana IAC, 2019).	4
Tabela 2 - Faixas de necessidade de irrigação em cana para déficit hídrico acumulado limite de 150 mm por ano.	10
Tabela 3 - Separação das áreas de produção de cana-de-açúcar no Brasil segundo os níveis de déficit hídrico.	13
Tabela 4 - Cenário atual do uso da irrigação em cana-de-açúcar no Semiárido brasileiro.	14
Tabela 5 - Cenário atual do uso da irrigação em cana-de-açúcar no Nordeste brasileiro.	15
Tabela 6 - Cenário atual do uso da irrigação em cana-de-açúcar na região Centro-Sul Brasil.	15
Tabela 7 - Consumo de água pela cana-de-açúcar, obtido em campo por diversos autores.	18
Tabela 8 - Coeficientes de cultura para cana-de-açúcar.	20

Tabela 9 - Variedades de cana-de-açúcar cultivadas em 2020 e suas respostas à irrigação.	26
Tabela 10 - Produtividade potencial (Y_p), produtividade dos melhores produtores (Y_{bf}) e produtividade média observada (Y_{avg}) nas macro regiões e estados brasileiros.	28
Tabela 11 - Tipos de solo e disponibilidade hídrica.	31
Tabela 12 - Vantagens e desvantagens do sistema de irrigação por aspersão convencional.	66
Tabela 13 - Vantagens e desvantagens do sistema de irrigação por aspersão via conjunto carretel enrolador autopropelido.	73
Tabela 14 - Vantagens e desvantagens do sistema de irrigação por pivô central.	81
Tabela 15 - Vantagens e desvantagens do sistema de irrigação linear.	83
Tabela 16 - Fontes solúveis de nutrientes mais utilizados em adubação por cobertura via gotejamento.	91
Tabela 17 - Relação de nutriente por expectativa de produção – cana planta.	91
Tabela 18 - Relação de nutriente por expectativa de produção – cana soca.	92
Tabela 19 - Solubilidade de fertilizantes.	93
Tabela 20 - Vantagens e desvantagens do sistema de irrigação por gotejamento.	94
Tabela 21 – Índice de Langelier (LSI).	109
Tabela 22 – Riscos na Qualidade da Água para Irrigação (BUCKS e NAKAYAMA, 1986).	110
Tabela 23 - Exemplo da Evolução média das características físico-químicas das águas residuárias industriais enviadas para a lavoura de cana.	112
Tabela 24 - Classificação das Águas para Irrigação quanto ao Teor de Sais.	133
Tabela 25 - Classificação das Águas para Irrigação quanto ao Risco de Sodicidade.	134
Tabela 26 - Diretrizes para interpretar a qualidade da água para irrigação.	136
Tabela 27 - Eficiência mínima de uso de água considerada para os sistemas de Irrigação para obtenção de outorga.	148
Tabela 28 - Vazões de pouca expressão por estado.	153
Tabela 29 - Critérios adotados para outorga de captação de águas superficiais.	155
Tabela 30 - Quadro para Classificação das Barragens de Acumulação e Água (Anexo II da Resolução CNRH 143/, de 10 de julho de 2012).	165
Tabela 31 - Matriz de Classificação (resolução ANA Nº 236, de 30 de Janeiro de 2017).	166
Tabela 32 - Matriz de Categoria de Risco e Dano Potencial Associado (Anexo II da Portaria DAEE nº 1634, de 10 de março de 2021)	169
Tabela 33 - Valores médios cobrados pelo uso de recursos hídricos de domínio da união, em 2018.	176
Tabela 34 - Valores do Kconsumo.	178
Tabela 35 - Valores do Kt.	178
Tabela 36 – Detalhes do Cliente.	191
Tabela 37 – Detalhes da Solução.	193
Tabela 38 – Detalhes do Cliente.	194
Tabela 39 – Detalhes da Solução.	195
Tabela 40 – Detalhes do Cliente.	198
Tabela 41 – Detalhes da Solução.	198
Tabela 42 – Informações Gerais.	201
Tabela 43 – Influência de lâminas crescentes de irrigação de salvamento no número de colmos por metro, peso, altura e número de internódios por colmo e porcentagem de falhas na variedade RB845257 em Goianésia-GO.	214

Tabela 44 – Ganho de produtividade da cana-de-açúcar, em toneladas de colmo por hectare (TCH) submetida à irrigação de salvamento.	220
Tabela 45 – Produtividade observada em regiões em projetos de irrigação por gotejamento da NaanDanJain no Brasil.	225
Tabela 46 – incremento de produtividade por corte e por variedade utilizada.	233

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

Com cerca de 8,3 milhões de hectares e produção de aproximadamente 598 milhões de toneladas, o Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo. (CONAB, 2022).

Apesar da extensiva área produtora e do título de grande líder internacional, a última década apresentou estagnação da produtividade. A safra 2022/23 mostrou leve aumento atingindo 72 toneladas por hectare (CONAB, 2022). O histórico da média de produtividade da região centro-sul na década passada era em torno de 85,00 toneladas por hectare (vide Figura 1). São vários fatores que ocasionaram a estagnação da produtividade, como o baixo investimento em insumos, a falta de renovação do canavial devido à crise econômica, expansão para regiões mais restritivas à produtividade agrícola, doenças, pragas, mecanização, manejo agrônomo e o clima.

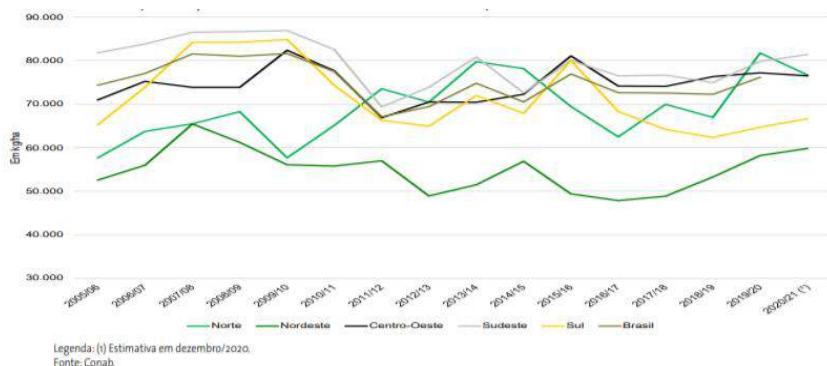


Figura 1 - Evolução da produtividade de cana-de-açúcar no Brasil (Fonte: CONAB, 2020).

Sabendo que o potencial genético das variedades atuais da cana-de-açúcar é superior à 400 toneladas por hectare, dentre os fatores de baixa produtividade já relacionados, o déficit hídrico é que demonstra, frequentemente, maior influência na produção dessa cultura. Áreas onde o déficit hídrico é maior, a produtividade média é menor do que áreas de déficit hídrico menos pronunciado.

Para suprir essa demanda, muitos produtores e unidades produtivas fazem o uso da tecnologia de irrigação. Entretanto, o Brasil não é um país com tradição em irrigação em cana-de-açúcar.

Em 2019, o Programa Cana do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) realizou um censo sobre irrigação em cana-de-açúcar no Brasil, onde um questionário foi enviado à várias unidades produtoras com perguntas sobre área irrigada, tipos de irrigação e sobre os equipamentos de irrigação utilizados. Após meses reunindo informações gerou-se um relatório cujo principais resultados encontram-se nos gráficos das Figura 2 e Figura 3.

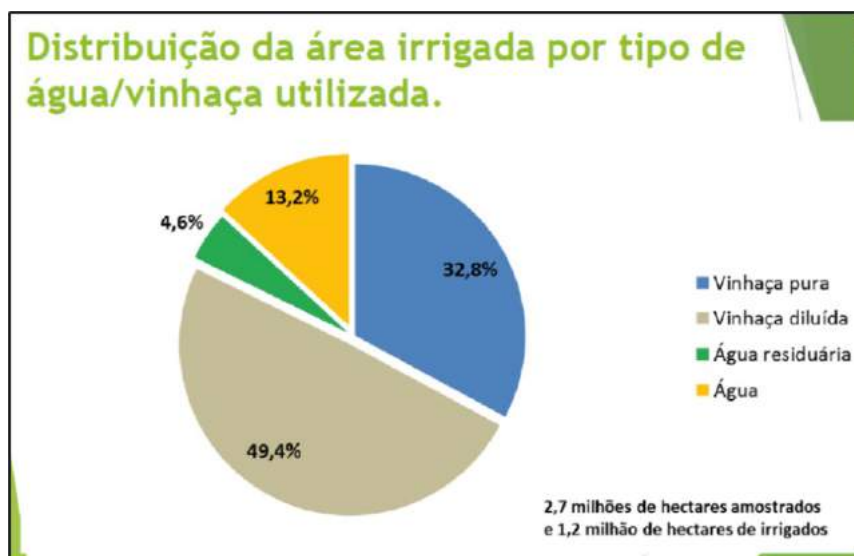


Figura 2 - Distribuição da área irrigada/fertilizada (Fonte: Programa Cana IAC, 2019).

Conforme esses dados, pode-se observar que a irrigação realizada por água representa apenas 13,2% da área plantada com cana-de-açúcar no Brasil, sendo menor que 2% em regiões consideradas com baixo déficit hídrico como nos estados do Paraná e São Paulo e aumentando sua participação com o crescimento do déficit em estados como Goiás, Minas Gerais. Possuindo maior área na região Nordeste.

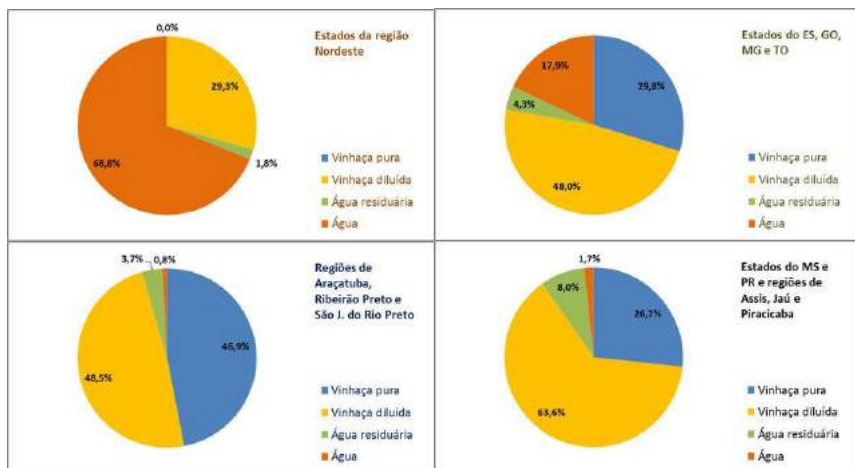


Figura 3 - Distribuição da área irrigada/fertirrigada por região (Fonte: Programa Cana IAC, 2019).

Em trabalho realizado por LANDELL, 2018 observa-se a importância da irrigação no desenvolvimento da cana-de-açúcar, bem como seu reflexo na produtividade. Esse trabalho baseou-se na coleta de dados por 5 safras em épocas de colheitas distintas: Início (Outono), Meio (Inverno) e Final de Safra (Primavera) e correlacionou-se essas informações com o déficit hídrico nesse período (Figura 4).

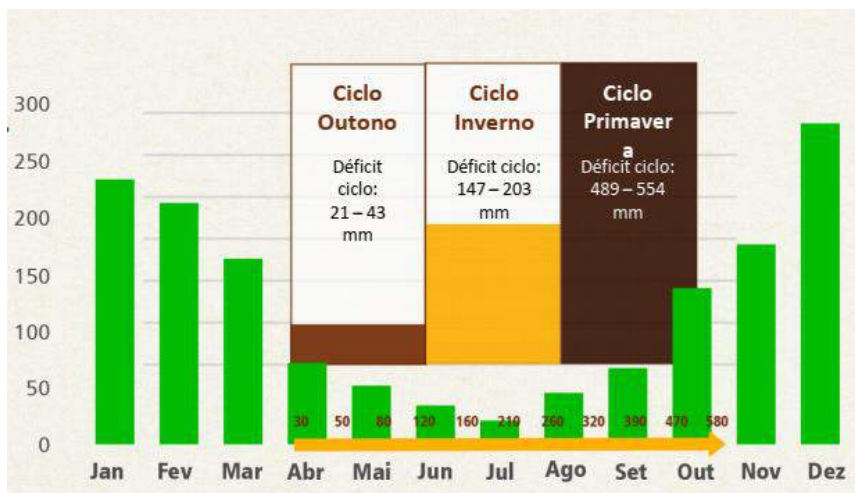


Figura 4 - Perfil climático da Região Centro-Sul do Brasil (Fonte: Programa Cana IAC, 2019).

O que foi observado nesse trabalho é que com o aumento natural do déficit hídrico a produtividade de cana-de-açúcar, principalmente em solos com menor teor argila, tende a diminuir, levando a quedas em até 25% entre canaviais colhidos em início a fim de safra, conforme se apresenta na Tabela 1.

Tabela 1 - TCH em função do CAD para tipos de solo (Fonte: Programa Cana IAC, 2019).

TCH médio de 5 anos de safra				
DIMINUIÇÃO DA CAD ↓		INICIO	MEIO	FINAL
	ARGILOSO	96,4	90,3	85,0
	MÉDIO	90,0	79,0	73,2
	ARENOSO	80,4	67,3	58,5
	MÉDIA	88,9	78,7	72,2
	→ QUEDA NO TCH			

Resultado muito parecido foi encontrado pela empresa de consultoria Cana Consultoria, que em 2018 realizou um levantamento comparando a produtividade de cana-de-açúcar relacionada ao déficit hídrico, onde pode-se observar claramente nos resultados apresentados na Figura 5, onde o déficit hídrico é maior os resultados de produtividade são menores, e vice-versa. O que demonstra que a cana-de-açúcar é altamente responsiva a água.

Ademais, também se tem nos mesmos resultados apresentados na Figura 5, que a produtividade da cana foi sempre menor em anos e ambientes com maior déficit hídrico. A safra de 2014/2015 foi particularmente impactante indicando a baixa produtividade da cana em função do grande déficit hídrico ocorrido nesse período.

Devido a esses fatos, e reconhecendo a necessidade da irrigação para o aumento da produtividade, este livro tem como objetivo fomentar o uso desta tecnologia em cana-de-açúcar abordando na sequência de capítulos, diversos temas referentes ao assunto.

Após esta introdução, o capítulo 2 apresenta as necessidades hídricas da cultura, o balanço hídrico, o mapeamento climático, a resposta das variedades e os potenciais produtivos. No terceiro capítulo o manual aborda o manejo da irrigação, seu monitoramento e os períodos de maior necessidade de irrigação no ciclo da cultura

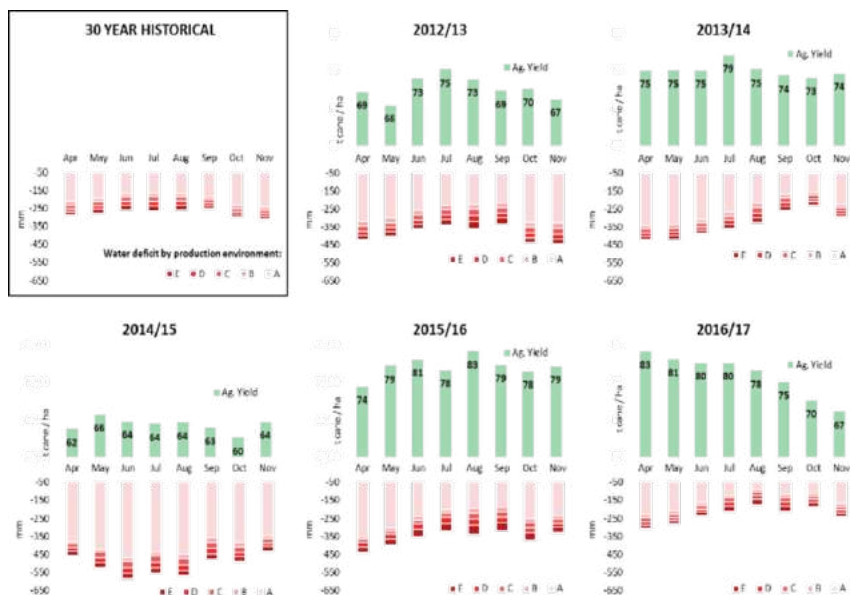


Figura 5 - Correlação do déficit hídrico com a produtividade de cana (Fonte: Cana Consultoria, 2018).

O capítulo 4 trata dos sistemas de irrigação existentes e suas principais vantagens. Os principais pontos que devem ser observados na execução de um projeto de irrigação são abordados no capítulo 5. O capítulo 6 apresenta um apanhado inédito de toda a questão ambiental e a legislação envolvida no que tange a irrigação de cana. Finalmente o capítulo 7 apresenta casos de sucesso da irrigação em cana-de-açúcar.

É com grande prazer que o GIFC – Grupo Irrigação e Fertirrigação de Cana-de-açúcar, formado por profissionais ligados a empresas do setor, pesquisadores científicos, agrônomos e técnicos, disponibiliza ao setor este inédito livro **Irrigação da Cana-de-açúcar - A Tecnologia de Irrigação, seu Potencial de Crescimento no Brasil e sua Legislação**, na perspectiva de contribuir positivamente para o manejo agrônomo sustentável da irrigação e fertirrigação elevando o patamar de produtividade da cana-de-açúcar.

CAPÍTULO 2 – NECESSIDADES HÍDRICAS

2.1 Aptidão agrícola de áreas para cana-de-açúcar no Brasil

O zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar (ZAE cana), foi realizado em 2009 pela Embrapa (MANZATO *et al.* 2009 Doc 110 Embrapa) com o objetivo de orientar a expansão e a produção sustentável de cana-de-açúcar, de maneira a gerar subsídios para políticas públicas. Tal zoneamento subsidiou o Decreto nº 6.961, de 17 de setembro de 2009, que esteve em vigor até 2019, sendo revogado pelo Decreto nº 10.084, de 2019. Os dados técnicos que embasaram as delimitações para o zoneamento seguem válidos e fundamentaram o mapa apresentado na Figura 6.

Através deste zoneamento é possível identificar áreas com potencial agrícola para o cultivo da cana sem restrições ambientais. As estimativas obtidas pelo zoneamento agroecológico demonstram que o país dispunha em 2009, de cerca de 64,7 milhões de ha de áreas aptas à expansão da cana, sendo que 19,3 milhões de ha. são considerados de alto potencial produtivo, 41,2 milhões de ha como médio e 4,3 milhões de ha de baixo potencial produtivo. Áreas aptas à cana e cultivadas com pastagem representavam cerca de 37,2 milhões ha em 2009. Para o cultivo da cana, caso deseje expandir a área, o país não necessita incorporar áreas de vegetação nativa ou áreas de produção de grãos.

Segundo a Embrapa, para determinar as áreas indicadas para a cana-de-açúcar foram considerados diversos critérios de clima, solo e aptidão da cultura. Um critério importante foi a topografia, excluindo áreas de declive superior a 12%. Outros critérios foram a temperatura acima de 19 graus e probabilidade de geada inferior a 20%. As áreas consideradas sem restrições apresentam deficiência hídrica menor que 200 mm, entre 200 e 400 mm para áreas com irrigação de salvamento e maior que 400 mm indicadas apenas com irrigação intensiva imprescindível.

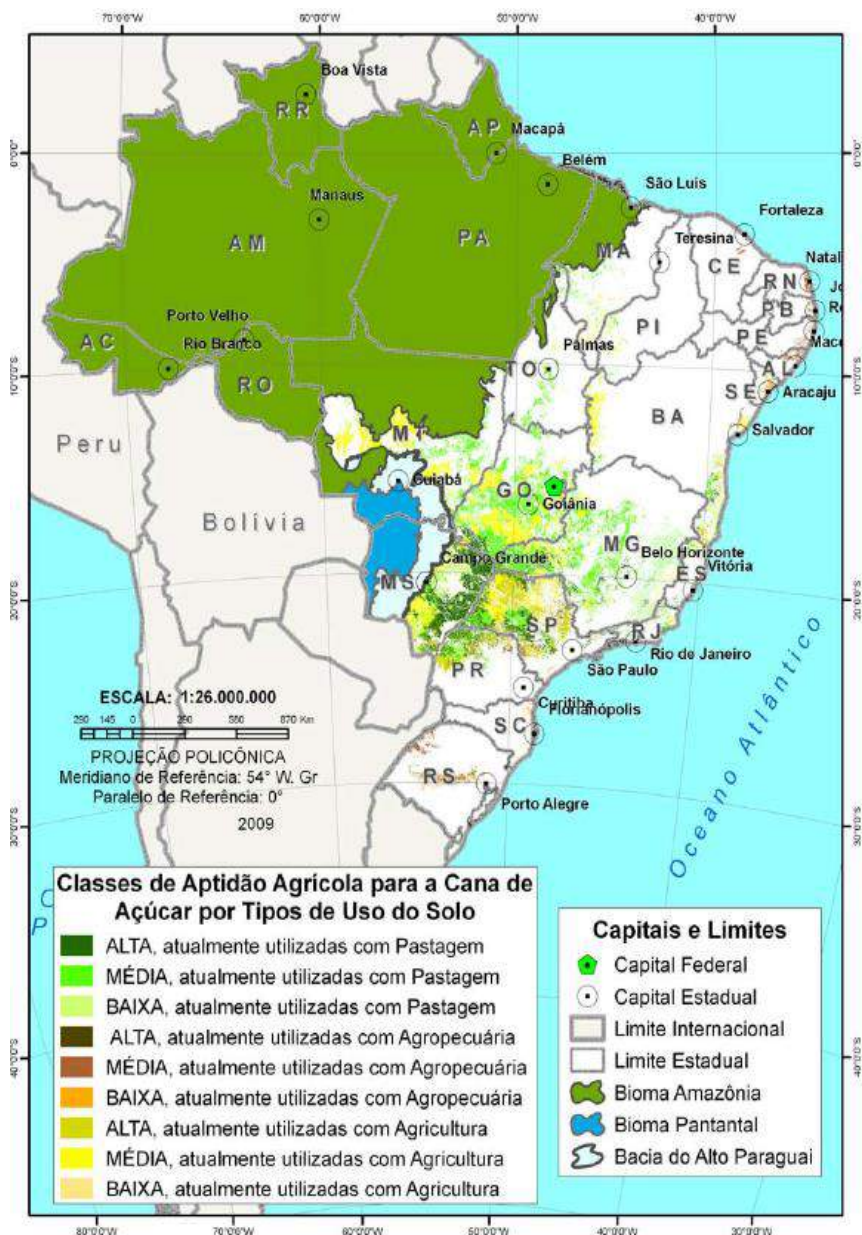


Figura 6 - Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar – Áreas aptas por classes de uso e aptidão (Fonte: MANZATO *et al.*, 2009).

2.2 Mapeamento da Necessidade de Irrigação no Brasil

Em 2010 um grupo de profissionais do setor elaborou o Projeto Cana Pedre Água, adotando novos critérios para a necessidade de irrigação de acordo com o mapa apresentado na Figura 7 e respectiva legenda na Tabela 2. Ressalta-se que, mesmo para áreas com déficit hídrico inferior a 150 mm, a tecnologia de irrigação pode apresentar viabilidade técnica econômica.



Figura 7 - Necessidade de irrigação de cana no Brasil (Fonte: CANA PEDE ÁGUA, 2010).

Tabela 2 - Faixas de necessidade de irrigação em cana para déficit hídrico acumulado limite de 150 mm por ano.

Região	Necessidade	Déficit hídrico
	SEM necessidade	Déficit até 150 mm
	BAIXA necessidade	Déficit de 151 mm a 220 mm
	MÉDIA necessidade	Déficit de 221 mm a 290 mm
	ALTA necessidade	Déficit de 291 mm a 430 mm
	MUITO ALTA necessidade	Déficit acima de 430 mm

Fonte: Projeto Cana Pede Água, 2010.

Em 2019 a Agência Nacional de Águas (ANA) finalizou o Levantamento da Cana-de-açúcar Irrigada e Fertirrigada no Brasil (ANA, 2019b), salientando que: o aumento observado na área cultivada não foi acompanhado por um aumento proporcional na produção de cana-de-açúcar devido à redução na produtividade.

Diversas são as causas relacionadas com a perda de produtividade dos canaviais, com destaque para as sucessivas estiagens observadas nos últimos anos nas duas principais regiões produtoras de cana-de-açúcar no Brasil, conforme pode ser observado na Figura 8 que apresenta o mapa da deficiência hídrica da cana-de-açúcar em dois períodos: 1997 a 2012 e 2014 a 2018. Nota-se que a deficiência hídrica foi bem mais acentuada no período mais recente em relação à média histórica.

O setor tem um desafio de crescimento com a implementação do programa Renovabio em 2020, que pretende elevar a produção anual de etanol dos atuais 33 bilhões de litros para cerca de 50 bilhões de litros em 2030, e a irrigação certamente contribuirá neste sentido para aumentar a produtividade.

Destaca-se neste trabalho da ANA, a separação da área irrigada da fertirrigada, o que era uma demanda do setor. De forma geral, 748,9 mil ha de cana são irrigados com água de mananciais no Brasil, sendo essa técnica mais relevante no Norte-Nordeste (irrigação em 38,5% dos canaviais) do que no Centro-Sul (2,9% dos canaviais). Em números absolutos, são irrigados 292,5 mil ha no Centro-Sul e 456,4 no Norte-Nordeste. Na média nacional, portanto, 6,6% dos canaviais são irrigados. Dentre as tipologias, o salvamento é responsável por 76% da área irrigada (ANA, 2019b).

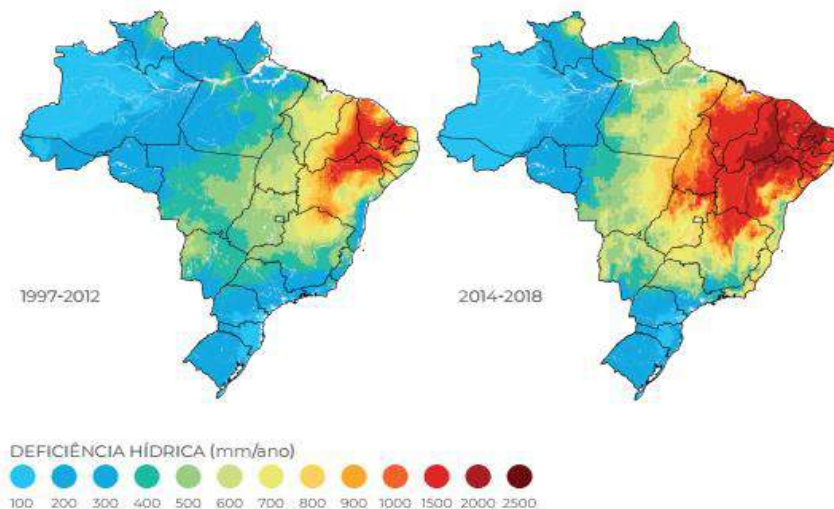


Figura 8 - Deficiência Hídrica média para cana - média histórica (1997 a 2012) e período recente (2014 a 2019) (Fonte: ANA).

Já a fertirrigação é estimada em torno de 30% da área canavieira, sendo praticada com baixas lâminas que variam de 5 a 60 mm distribuídas de forma relativamente homogênea, independentemente da deficiência hídrica, mas em conformidade com as necessidades nutricionais da cultura canavieira e com as normativas dos órgãos ambientais estaduais. Na época do levantamento, a fertirrigação praticamente era por aspersão, sendo atualmente fortemente influenciada com a nova tecnologia de aplicação localizada, aumentando sobremaneira este percentual de área fertirrigada, com o melhor aproveitamento da vinhaça.

As plantas C4 a exemplo da cana-de-açúcar, são capazes de fixar o carbono de modo mais eficiente que as plantas C3, principalmente em temperaturas superiores a 28 °C. As plantas C4 são mais eficientes também no manejo da água, apresentando menor taxa de transpiração e melhor gerenciamento de abertura estomática. Para condições climáticas mais extremas, as plantas C4 apresentam vantagens. A irrigação e fertirrigação suprimindo possíveis deficiências contribuem para o melhor desempenho na produtividade das plantas C4, principalmente em ambientes

quentes e sob alta iluminação, o que explica sua prevalência nos trópicos (Buckeridge, 2016).

2.3 Mudanças climáticas

O clima é fator fundamental para o planejamento agrícola. É baseado em sua normalidade que os produtores ou os técnicos tomam as decisões relacionadas ao planejamento de safra, que se iniciam desde o preparo da área, plantio, tratamentos culturais, finalizando com a colheita e a comercialização dos produtos.

Para a cultura da cana-de-açúcar, os fatores que mais interferem em seu desenvolvimento são: a temperatura (máxima e mínima), a radiação solar e a deficiência hídrica.

A retirada da água do solo pelo sistema radicular das plantas pressupõe que o equilíbrio hídrico do sistema solo-raiz está normalizado e com isso a planta apresenta pleno potencial de crescimento. Em condições de déficit, as plantas tendem a diminuir a perda de água através do fechamento parcial dos estômatos, diminuindo a entrada de CO₂, o que leva a diminuição na realização da fotossíntese e com isso levando a perdas na produtividade.

No entanto, a variabilidade e a mudança climática causadas por processos naturais e antropogênicos estão afetando o processo de planejamento das lavouras, acarretando a perdas expressivas de produtividade. Como divulgado pela ESALQ/USP, onde a entidade estimou, a safra 18/19, a queda de produtividade em 10% na região Centro-Sul, devido ao atraso do período chuvoso.

Dentre os parâmetros analisados, os que mais demonstram preocupação é o aumento da temperatura média mundial, estimado pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (International Panel on Climate Change – IPCC) no Quarto Relatório de Avaliação (AR4) estão entre 1,8 e 3,6 °C e a irregularidade das chuvas, não somente no volume anual, mas principalmente em sua distribuição.

BOMBARDI & CARVALHO (2008) sugeriram que na região Centro-Oeste do Brasil, deverá ocorrer um aumento na ocorrência de eventos extremos, tanto de anos mais chuvosos quanto de anos mais secos. Este cenário de maior fragilidade climática é especialmente importante para culturas com ciclos mais longos, mais expostas aos riscos climáticos, como é o caso da cana-de-açúcar.

Para mitigar os riscos causados pelo estresse hídrico, seja ele causado pela diminuição das chuvas ou por sua ausência no período crítico de desenvolvimento, a irrigação surge com uma grande solução para garantir a produtividade estimada.

De acordo com GAVA *et al.* (2011), é possível verificar respostas positivas na produtividade final da cana-de-açúcar irrigada, por meio da análise de um conjunto de fatores, tais como a quantidade de água e fertilizantes aplicados, manejo de irrigação, idade de corte e do tipo de solo e clima. Entender as variáveis ambientais que mais afetam no desenvolvimento da cultura ao produtor de cana-de-açúcar possibilita a execução de um planejamento técnico de quanto e quando irrigar.

2.4 Cenário atual da Irrigação no Brasil

Para a realização do estudo do cenário da irrigação, as áreas de produção de cana-de-açúcar no Brasil foram separadas segundo os níveis da intensidade do déficit hídrico, como aqueles apresentados na Tabela 3, obtida a partir da referência de PEDROSO (2018).

Tabela 3 - Separação das áreas de produção de cana-de-açúcar no Brasil segundo os níveis de déficit hídrico.

Macro regiões	Déficit hídrico
SEMI – ÁRIDO	> 1.500 mm
NORDESTE	450 – 600 mm
REGIÃO DE EXPANSÃO	280 – 450 mm
REGIÃO TRADICIONAL	185 – 250 mm

Fonte: PEDROSO (2018).

O Semiárido brasileiro, que compreende o centro-oeste pernambucano e o oeste baiano, é caracterizado por baixos volumes de precipitação pluvial, menos de 500 mm por ano, por alta temperatura e aproximadamente 2.000 mm anuais de evapotranspiração. Nesta região, a irrigação é fundamental para a subsistência da cultura da cana-de-açúcar.

A região Nordeste, onde estão incluídas a Zona da Mata e o Agreste Nordestino, é caracterizada por precipitações pluviiais anuais variando de 800 a 1.500 mm e que se concentram nos meses de maio a julho, por evapotranspiração anual

de aproximadamente de 1.200 mm e por apresentar solos com baixa capacidade de retenção de água (CAD). Nessa região, é costumeiro a utilização da irrigação de salvação para os campos de cana-de-açúcar colhidos no "início de safra" (colheitas realizadas entre os meses de agosto a outubro); da irrigação por déficit de canaviais colhidos em "meio de safra" (colheitas realizadas entre os meses de novembro e dezembro) e irrigação plena para as áreas de cana-de-açúcar de colheita " em fim de safra" (colheitas realizadas entre os meses de janeiro a março).

A região de Expansão, que se distribui pelos estados de Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e oeste do estado de São Paulo, é caracterizada por precipitações pluviais médias anuais na faixa de 1.200 mm, e que se concentram nos meses de novembro a abril, por evapotranspiração média anual de 1.200 a 1.300 mm, e por apresentar solos com baixa capacidade de retenção de água (CAD). Nessa região, a utilização da irrigação por déficit é a predominante.

A região Tradicional, que é formada pelas áreas produtoras localizadas no Leste e no centro-sul do estado de São Paulo, é responsável por mais de 55% da produção total de cana-de-açúcar do Brasil. A região é caracterizada por apresentar precipitação pluvial média anual variando de 1.300 a 1.500 mm, quase toda ela concentrada nos meses de novembro a abril; por evapotranspiração média anual de 1100 a 1300 mm, e, também, por possuir solos de média a alta capacidade de retenção de água. Nesta região, a irrigação dos canaviais é feita basicamente pela irrigação de salvação.

Uma vez estabelecida a regionalização das áreas irrigadas de cana-de-açúcar, passou-se à fase seguinte de coleta de informações sobre os métodos de irrigação utilizados e as respectivas áreas beneficiadas.

Para este propósito, foram entrevistadas usinas instaladas no Semiárido e no Nordeste brasileiros, estando os resultados obtidos sumarizados, respectivamente, nas Tabela 4 e Tabela 5.

Tabela 4 - Cenário atual do uso da irrigação em cana-de-açúcar no Semiárido brasileiro.

Área plantada de cana-de-açúcar (ha)	Área irrigada (100%)		Área sequeiro (0%)
	Sulco	75%	-
	Pivô	6%	-
	Gotejamento	19%	-

Fonte: PEDROSO (2018).

Tabela 5 - Cenário atual do uso da irrigação em cana-de-açúcar no Nordeste brasileiro.

Área plantada de cana-de-açúcar (ha)	Área irrigada (79,3%)		Área sequeiro (20,7%)
	Canhão	60%	-
	Pivô	15%	-
	Alas Móveis	10%	-
	Gotejamento	15%	-

Fonte: PEDROSO (2018).

Para o levantamento das informações das áreas canavieiras situadas no Centro-Sul do país, aqui denominadas de regiões de Expansão e Tradicional, as áreas mencionadas foram unificadas e os dados foram obtidos através de uma revisão bibliográfica de fontes oficiais já existentes. Como pode ser observado na Tabela 6, a região Centro-Sul contava em 2019, com uma área irrigada 273,7 mil hectares de cana-de-açúcar, o que representava, aproximadamente, 3% da área total irrigada no Brasil, que era de 9.131 mil hectares. Do total da área irrigada de cana-de-açúcar na região Centro-Sul brasileira, 67,6% dela receberam irrigação de salvação via autopropelidos; 29,08 % de irrigação por déficit e 3,32% de irrigação plena por meio de gotejamento.

Tabela 6 - Cenário atual do uso da irrigação em cana-de-açúcar na região Centro-Sul Brasil.

Área plantada de cana-de-açúcar (ha)	Área por tipo de irrigação (ha)	
9.131 mil ha	Plena	9,1 mil
	Por Déficit	79,6 mil
	De Salvação	185 mil
	Área total irrigada	273,7 mil

Fonte: Compilado e adaptado por Daniel Pedroso de UNICA, 2019 & ANA, 2019.

2.5 Necessidade hídrica da cana

A cana-de-açúcar caracteriza-se por ser uma cultura semiperene com diversas fases de crescimento durante o ciclo, como a brotação, o perfilhamento, a elongação dos colmos e a maturação. Cada fase tem particularidades quanto ao requerimento hídrico. Além disso, durante o cultivo da cana planta e primeira soqueira a produtividade é bem relacionada com as condições de fertilidade e do manejo realizado na camada superficial do solo. Após a segunda soqueira o sistema radicular pode se aprofundar bem, se o solo não apresentar restrições e a produtividade da

cana passa a ser mais dependente das condições químicas e físicas dos horizontes subsuperficiais do solo. Quando não há restrições físicas e químicas ao crescimento das raízes, o sistema radicular da cana pode atingir profundidades maiores que 1 m.

A disponibilidade de água nos ambientes de produção de cana é um dos fatores que mais prejudica o crescimento e desenvolvimento da cultura, e por consequência, a produtividade, uma vez que o déficit hídrico prejudica o crescimento de raízes e por sua vez, prejudica a exploração de mais solo, mais água e mais nutrientes. O baixo fornecimento de água pode reduzir sensivelmente a produtividade mesmo em ambientes de solo férteis e aptos ao cultivo da cana. Déficit hídrico tem sido considerado o principal fator climático causador de variabilidade na produtividade das safras de cana-de-açúcar ano a ano, nas diversas regiões produtivas.

Em função do ciclo longo e semiperene a cana-de-açúcar sofre influência de variações climáticas durante o ano todo. A cultura encontra suas melhores condições quando ocorre um verão quente e úmido com intensa radiação solar durante a fase de crescimento, seguido de um período seco durante as fases de maturação e colheita. No Brasil, com extensões territoriais enormes, existem as mais variadas condições climáticas, de maneira a possibilitar duas épocas de colheita anuais, de agosto a abril no Norte e Nordeste e de abril a dezembro na região Centro-Sul.

A temperatura é provavelmente o fator mais limitante para a produção de biomassa. A temperatura basal para a cana-de-açúcar está em torno de 20 °C, e a temperatura ótima, quando a cana apresenta crescimento intensivo está entre 22 °C e 30 °C. Acima de 35 °C o crescimento fica muito prejudicado e acima de 38 °C é nulo (BARBIERI & VILLA NOVA, 1977, FAUCONIER e BASSEREAU 1975). BRUNINI (2008) observa que em regiões com ausência de estação seca é necessária a redução da temperatura do ar para que a cana diminua a taxa de produção de biomassa e passe a acumular sacarose, como ocorre na região Sul do Brasil.

A cana-de-açúcar tem alto requerimento hídrico como consequência da alta produção de biomassa e do ciclo longo. Figueroa et al. 2009 citam que a cana é uma das espécies cultivadas de maior eficiência no uso da água, produzindo de 2 a 2,7 g de biomassa seca e 0,6 a 1 g de açúcar por kg de água consumida.

Variações importantes no requerimento hídrico são observadas nos diferentes estádios de crescimento da cultura.

Durante a brotação até o estabelecimento do stand a cana requer umidade adequada, mas o consumo é relativamente baixo quando comparado com as fases seguintes e relacionado com o estabelecimento do sistema radicular que ainda é limitado e o início da formação da área foliar na parte aérea, como exemplificados na Figura 9 e na Figura 10.

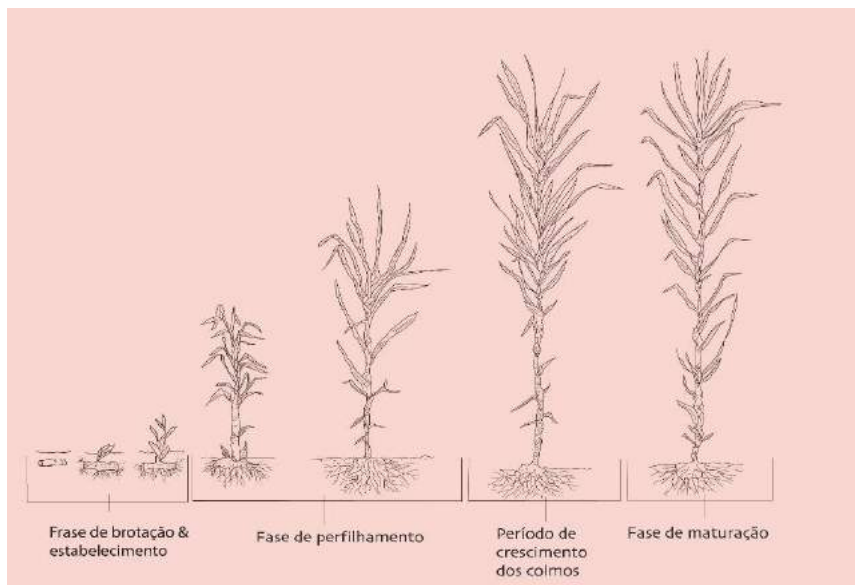


Figura 9 - Fases de desenvolvimento da cana-de-açúcar (Ilustração: Velasquez).

SCARDUA e ROSENFELD (1987) apresentaram uma compilação de dados de diversos autores sobre o consumo de água pela cana-de-açúcar.

De acordo com a Tabela 7 o consumo mínimo, médio e máximo de água em mm/dia seria 2,1; 3,5 e 4,9 mm, o que significaria para a safra de 365 dias, cerca de 766,5 mm como mínimo; 1.277,5 como média e 1.788,5 mm como máximo.

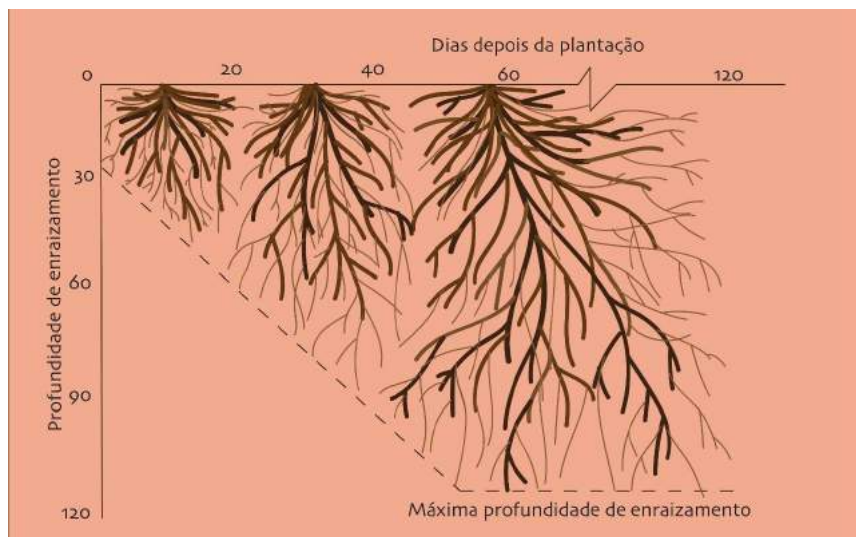


Figura 10 – Esquema ilustrativo do crescimento radicular da cana-de-açúcar em função do tempo (Ilustração: Velasquez).

Tabela 7 - Consumo de água pela cana-de-açúcar, obtido em campo por diversos autores.

Autor	Ano	Local	Ciclo da Cultura	Consumo de água (mm/dia)		
				máximo	mínimo	médio
Cox	1960	EUA (Havaí)	-	8,0	3,8	-
Thompson	1963	África do Sul	-	6,0	2,2	-
Tosello	1966	Brasil	-	3,4	1,3	-
Cruciani	1972	Brasil	-	2,8	1,2	-
Souza	1974	Brasil	Planta	4,5	2,3	3,6
Souza	1975	Brasil	Soca	5,0	2,2	3,6
Leme	1978	Brasil	Planta	5,6	1,9	3,8
Leme	1978	Brasil	Planta	4,8	1,3	3,2
Scardua	1979	Brasil	Planta	4,5	2,3	3,3
Scardua	1979	Brasil	Soca	4,4	2,2	3,2
Média				4,9	2,1	3,5

Fonte: SCARDUA e ROSENFELD (1987).

2.6 Balanço hídrico

A água faz parte de um sistema de ciclagem entre os compartimentos solo-planta-atmosfera, conforme mostra a Figura 11. As fontes de entrada de água no sistema são: precipitação, orvalho, escoamento superficial, drenagem lateral, ascensão capilar e irrigação. As saídas são: evapotranspiração, escoamento superficial, drenagem lateral e drenagem profunda (Pereira et al. 2002).

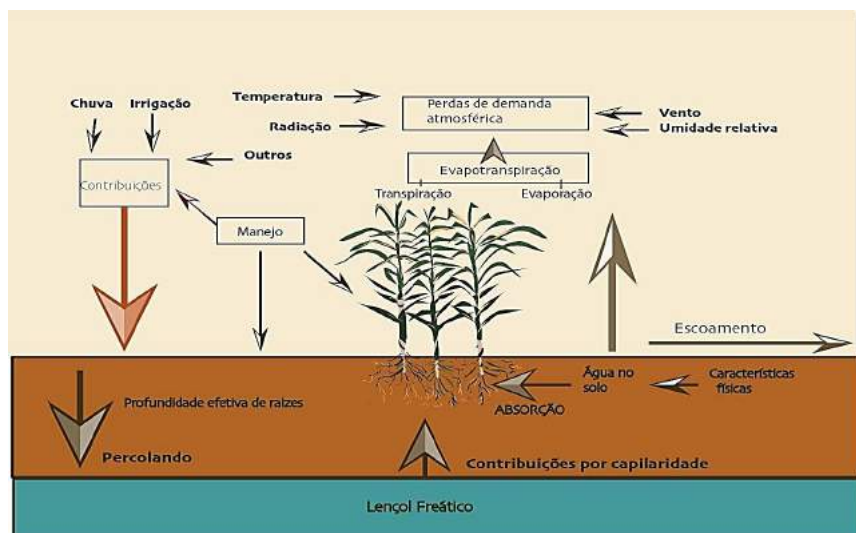


Figura 11 - Ciclo da água e compartimentos solo-planta-atmosfera (Ilustração: Velasquez).

As interações entre os compartimentos fazem com que haja variações na quantidade de água armazenada. Assim, a variação da água armazenada num determinado volume de solo em um intervalo de tempo é chamada de balanço hídrico e representa a quantidade de água que entrou e saiu no sistema. O conhecimento do balanço hídrico é relevante para determinar a necessidade hídrica de uma cultura e ajudar na tomada de decisões de projetos de irrigação. O método de THORNTHWAIT & MATHER (1955) para o cálculo do Balanço hídrico é muito utilizado e requer os dados de evapotranspiração de referência (ETP), coeficiente de cultura (K_c), precipitação (P) e capacidade de água disponível (CAD) ao longo do período da cultura.

A evapotranspiração é a perda de água para a atmosfera, pela combinação da evaporação da água na superfície do solo com a transpiração das plantas.

A evapotranspiração potencial (ETP) é a quantidade de água utilizada por uma superfície vegetada com grama em plena disponibilidade de água no solo. A evapotranspiração nessas condições é considerada como padrão, a ser comparado com a evapotranspiração da cultura, refletindo, portanto, as condições locais num dado período que influenciam a evapotranspiração.

A evapotranspiração da cultura (ETc) é a quantidade de água utilizada pela cultura em qualquer fase de crescimento, desde o plantio até a colheita, quando não há restrição hídrica. A ETc é determinada na cultura sadia, para a fase de desenvolvimento que se encontra e sem falta de água. O cálculo da ETc é dependente das condições meteorológicas, do tipo de cultura e da sua fase de desenvolvimento, ao qual considera a área foliar que está diretamente relacionada com a transpiração da planta. Assim, para determinar a ETc há presença de bordadura para evitar troca de calor e água com a área ao redor. A ETc pode ser obtida pelo produto entre ETP e o coeficiente de cultura (Kc). O valor Kc varia com as fases fenológicas e também entre as variedades de cana, conforme a Tabela 8.

Tabela 8 - Coeficientes de cultura para cana-de-açúcar.

Idade da cultura (meses)		Período de	Coeficiente (Kc)		
cana planta	cana soca	Desenvolvimento	mínimo	máximo	médio
0 – 2	0 – 1	Do plantio até 25% de cobertura do solo (i)	0,40	0,60	0,50
2 – 3	1 – 2	De 25% a 50% de cobertura do solo (i)	0,75	0,85	0,80
3 – 4	2 – 3	De 50% a 75% de cobertura do solo (i)	0,90	1,00	0,95
4 – 7	3 – 4	De 75% a cobertura completa do solo (i)	1,00	1,20	1,10
7 – 14	4 – 9	Utilização máxima (ii)	1,05	1,30	1,20
14 – 16	9 – 10	Início da maturação (iii)	0,80	1,05	0,95
16 – 18	10 – 12	Maturação (iii)	0,60	0,75	0,70
(i) Primeiro estágio: estabelecimento da cultura seguido de período vegetativo					
(ii) Segundo estágio: formação da produção					
(iii) Terceiro estágio: maturação					

Fonte: DOORENBOS & PRUITT (1977) e DOORENBOS & KASSAN (1979).

2.7 Variedades e sua resposta à irrigação

São vários os fatores que influenciam a resposta produtiva da cana-de-açúcar à utilização da irrigação. Tais fatores vão desde as condições locais, como tipo de solo e regime ou balanço hídrico, que se poderia chamar de ambiente de produção edafoclimático, passando pela qualidade dos processos e manejos agrônômicos como o preparo de solo e plantio, os tratos culturais e a colheita, o adequado fornecimento de nutrientes ou fertirrigação, pela disponibilidade hídrica e consumo de água, pelos tipos de espaçamento e sistemas de irrigação e também muitos outros fatores bióticos, como ocorrência de pragas, doenças e mato-competição.

Mas, sem dúvida, as respostas de acréscimo de produtividade, tanto de colmos como de teores de sacarose, que irão determinar o sucesso econômico dos projetos, dependem da responsividade das variedades à irrigação, seja ela plena, déficit ou de salvamento.

A escolha correta das variedades, atendendo suas características de adaptabilidade ou exigências aos ambientes de produção, época de maturação e colheita, brotação de soqueira, ausência de florescimento e isoporização, resistência às pragas e doenças e, sobretudo, respostas à irrigação, torna-se o ponto crucial para o sucesso irrigação.

Há uma errônea interpretação de que a irrigação pode suprir alguma deficiência de determinadas variedades, como por exemplo, optar por uma variedade que tem alto teor de sacarose, mas baixa produtividade agrícola, esperando que se consiga elevar a produção de colmos e otimizar a produção de açúcar por área. Ou que uma determinada variedade, que não tem uma ótima brotação de soqueira, passe a brotar melhor sob um regime hídrico mais favorável.

Portanto não se deve buscar corrigir as características indesejáveis das variedades e sim potencializar a produtividade das mesmas desde que se conheça previamente suas respostas à irrigação.

Apesar da importância da escolha correta da variedade, nunca houve no Brasil um programa de melhoramento genético voltado especialmente ao desenvolvimento de variedades de cana-de-açúcar com maior capacidade de resposta produtiva ao uso intensivo da irrigação. Para suprir esta deficiência, se tem procurado definir, através de experimentação e ensaios de competição em áreas pilotos, utilizando-se dentre as variedades comerciais disponíveis, aquelas que

apresentam melhor desempenho produtivo agrícola e industrial quando em condições de cultivo irrigado.

SILVA *et al.* (2007) constataram que genótipos de cana-de-açúcar respondem diferentemente ao aumento da disponibilidade hídrica; citando SALIENDRA *et al.* (1996) e INMAN-BAMBER & SMITH (2005), salientaram que a eficiência de utilização de água de uma variedade de cana-de-açúcar está relacionada a fatores fisiológicos.

GAVA *et al.* (2011), trabalhando com 3 cultivares de cana-de-açúcar, nos ciclos de cana planta e de primeira soca, obtiveram diferentes respostas das cultivares à irrigação por gotejamento, sendo que a variedade SP80-3280 aumentou a sua produtividade de colmos (TCH) em 33%, em ambos os períodos e produtividade de açúcar (TPH), em 25 e 33% nos períodos de 2007 e 2008, respectivamente. Para a variedade RB867515 observou-se um aumento de 18 e 15%, respectivamente, para produtividade de colmos e de açúcar, no período de 2007, e de 28% de produtividade de colmos e açúcar para o período de 2008. A cultivar RB855536, embora menor, também apresentou diferenças significativas, com elevação na ordem de 6% para produtividade de colmos (TCH) e de 4% para a produtividade de açúcar (TPH) em 2007, mas no período de 2008 elevou a produtividade de colmos (TCH) e de açúcar (TPH) em 22%.

A eficiência de utilização de água da cultivar SP80-3280 foi diferente para os manejos, irrigado e de sequeiro. Este resultado demonstra que a referida cultivar é possivelmente, mais sensível ao estresse hídrico, comparando-se com as demais (RB867515 e RB855536). A diferença de eficiência de utilização de água em relação à produtividade de colmos, verificada nas cultivares estudadas, se deve sem dúvida, à capacidade que cada uma possui de tolerar o estresse hídrico e, em seguida, rapidamente se recuperar.

Avaliando o potencial produtivo de diferentes variedades de cana-de-açúcar irrigadas plenamente por gotejamento durante dois ciclos, em relação, produtividade de açúcar e de colmos e eficiência de utilização de água, Silva *et al.* (2014) observaram que variedades de cana-de-açúcar respondem diferentemente a aplicação de água, sendo esta resposta influenciada pelas condições climáticas do ano agrícola. Nesta pesquisa apenas o primeiro ciclo de avaliação (cana-planta) foi determinante para diferenciar o desempenho entre as variedades. As variedades IAC91-1099, IACSP96-3060, RB855536, RB867515 e SP89-1115 apresentaram

melhor potencial produtivo agroindustrial e menor consumo relativo de água podendo, então, serem recomendadas para o manejo de produção com irrigação por gotejamento.

CAMPOS *et al.* (2014), trabalharam com 16 variedades na região de Goianésia-GO, submetidas à irrigação por aspersão, correspondendo a uma reposição de 50% da ETc. As variedades que mais responderam, sem apresentarem diferença significativa entre si, foram a CTC2, CTC9, CTC11, CTC15, IAC87-3396, IAC91-1099, RB867515, RB92579 e SP86-0042, as quais obtiveram as maiores médias de produtividade agrícola. Essa performance esteve mais associada ao melhor desempenho em massa de 10 colmos e ao comprimento de colmos, exceto para a variedade CTC2, que apresentou maiores médias de perfilhamento e diâmetro de colmos.

As variedades CTC2, CTC9, IAC87-3396, RB867515, RB92579 e SP86-0042 obtiveram, produtividades acima de 140 t/ha, e as variedades CTC15 e IAC91-1099, maiores que 160 t/ha, tendo, assim, um grande potencial de utilização em condições de ambientes irrigados no Cerrado goiano.

As variedades CTC4, IACSP93-3046, IACSP94-2094, IACSP94-2101, IACSP95-5000 e RB966928 apresentaram produtividade intermediária, entre 130 e 140 t/ha. Mesmo assim, estas produtividades podem ser consideradas expressivas para a região. A variedade CTC18 apresentou a menor produtividade, não justificando seu emprego em áreas irrigadas naquelas condições.

Trabalhando com sistema autopropelido e barra de irrigação, em 3 variedades, em 3 cortes e 7 regimes hídricos correspondendo a 0, 7, 17, 36, 46, 75 e 100% da ETc, na região de Planaltina-DF, Rodolfo Júnior et al (2016) obtiveram produtividades médias de 174, 148 e 131 t/ha respectivamente nas variedades RB867515, RB855156 e RB835486, sendo que nessa última ocorreu um severo ataque da doença podridão vermelha. As parcelas com irrigação equivalente a 75% da ETc não proporcionaram entre as variedades testadas diferenças significativas para a qualidade industrial em relação ao cultivo em sequeiro (0% da ETc)

MASCHIO (2011), estudando em casa de vegetação a produtividade em biomassa de 24 variedades de cana-de-açúcar, submetidas à irrigação plena e ao déficit hídrico durante o desenvolvimento vegetativo, encontrou destaque positivo nas variedades CTC6, CTC14, CTC17, RB867515, RB92579 e SP81-3250.

CASAROTTO (2017), estudando a produtividade agrícola de três variedades de cana-de-açúcar no Estado do Mato Grosso, constatou que a altura da planta e o diâmetro do colmo não foram influenciados pela irrigação, que, entretanto, aumentou o número de perfilhos por metro, principalmente na fase inicial até os 122 DAP (dias após o plantio), para todos os tratamentos. A irrigação plena promoveu um maior número de colmos por metro quadrado na produção final. A RB92579 foi a variedade mais responsiva à irrigação em produtividade de colmos por área (211,71 t/ha, 29,33% maior que os tratamentos de sequeiro), seguido da RB928064 e RB867515, independente da época de colheita

FISCHER FILHO (2018) avaliou o efeito de diferentes lâminas de irrigação, aplicadas via gotejamento subsuperficial, nas características biométricas, na qualidade tecnológica, na produtividade agrícola e na eficiência do uso da água de cinco cultivares (CTC 4, IACSP93-3046, RB86-7515, IACSP95-5000 e IAC91-1099) em segunda soca, nas condições edafoclimáticas da região de Jaboticabal-SP.

O uso da irrigação proporcionou condições para as plantas se estabelecerem e expressarem melhor suas características biométricas, principalmente no início do desenvolvimento vegetativo; com destaque as cultivares RB86-7515 (com maiores alturas, diâmetros de colmos e área foliar), a CTC 4 (com maior perfilhamento) e a IAC91-1099 (maior número de folhas e índice de área foliar). Não foram encontradas diferenças estatísticas significativas para sólidos solúveis totais e teor de fibra. As quantidades de sacarose no caldo (POL) e na cana (PC) não diferiram entre as cultivares, porém, a irrigação suplementar proporcionou maiores valores dos parâmetros avaliados. No regime de irrigação suplementar a cultivar IAC91-1099 apresentou maior valor de açúcares totais recuperáveis (ATR), igual a 165,62 kg/t e as maiores produtividades de colmos e de açúcares, 157,02 e 26,01 t/ha, respectivamente, podendo ser recomendada para plantio em áreas irrigadas por gotejamento subsuperficial.

A resposta à irrigação pode também ser influenciada por outros fatores de estresse, como por exemplo os bióticos causados por pragas e doenças. Alves (2020), em condições de Jaboticabal-SP, comparou déficits de irrigação aplicados via gotejamento subsuperficial em cinco cultivares de cana-de-açúcar (CTC4, IACSP93-3046, RB86-7515, IACSP95-5000 e IAC91-1099), na quarta soca, sob a presença de nematoides e do fungo (*Ustilago scitaminea*) causador do de carvão na cana-de-açúcar e seus efeitos no rendimento e produção da cultura. A irrigação por

gotejamento subsuperficial neste trabalho proporcionou ganhos em média de 45 t/ha, em relação ao sequeiro.

A cultivar que se destacou foi a CTC4, no regime suplementar, obtendo ganhos de 75 t/ha, a mais que o tratamento não irrigado. A produtividade das demais cultivares (IACSP93-3046 e RB86-7515) foi afetada, pelo ataque de nematoides e pelo do fungo causador do carvão da cana-de-açúcar. De maneira geral, o cultivo de sequeiro apresentou melhor qualidade tecnológica, e, segundo a autora do trabalho, provavelmente em razão do tombamento dos colmos observado na área dos tratamentos irrigados, que apresentaram crescimento acelerado no início e alto perfilhamento, favorecendo o tombamento das plantas nas parcelas/tratamentos irrigadas.

No Nordeste brasileiro, em regime de irrigação por inundação ou aspersão, na década de 1990 e início de 2000, a antiga variedade Co997 foi muito utilizada em Alagoas. Também em condições do nordeste, mais recentemente, as variedades RB92579 e RB93509 têm propiciado boas respostas. Em condições do semiárido baiano, as mesmas variedades já alcançaram médias de mais de 250 t de cana-de-açúcar por hectare no sistema de gotejamento.

Mais recentemente, em condições de cerrado do centro-norte de Goiás e de Minas Gerais, as variedades IACSP95-5094 e IAC91-1099 tem apresentado boas respostas à irrigação por gotejamento ou aspersão.

No sul de Goiás, em projeto piloto de gotejamento, destacaram-se as variedades CTC9001 (início de safra) e CTC4 (meio de safra), com acréscimos médios de 60 t de cana-de-açúcar por hectare e 8 t de ATR (Açúcar Total Recuperado) por hectare em relação ao sequeiro. Esses resultados têm demonstrado que é possível ocorrer um incremento não só na produtividade de colmos, mas também nos teores de sacarose nas áreas irrigadas, desde que se faça um correto manejo agrônômico e nutricional e principalmente um “dry-off” adequado.

Na Tabela 9 estão apresentadas as características das principais variedades cultivadas e disponíveis em 2020, assim como suas respostas à irrigação, de acordo com os resultados experimentais e comerciais comentados anteriormente e de uma série de observações práticas de produtores, consultores, empresas de irrigação e corpo técnico de usinas.

Tabela 9 - Variedades de cana-de-açúcar cultivadas em 2020 e suas respostas à irrigação.

Tabela 9 - Características agrônomicas e resposta à irrigação das principais variedades de cana-de-açúcar (julho de 2020)														
Adaptado de Pedroso, D; Sordi, R.A, comunicação pessoal														
Variedades	Destaque	Ambiente de Produção*					Época de colheita **							
		A	B	C	D	E	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov
SP 80-1016	soqueira, cana crua	X	X	X	X									
SP 80-3280	soqueira, responsiva	X	X	X	X									
SP 83-2047	rusticidade, pobre, carvão	X	X	X	X									
SP 83-5073	rica, cana crua	X	X	X	X									
SP 88-1115	precocidade, acana, ferrugem	X	X	X	X									
SP 91-1049	precocidade	X	X	X	X									
CTC 2	soqueira, rusticidade	X	X	X	X									
CTC 4	rica, produtividade, ferrugem	X	X	X	X									
CTC 6	produtividade	X	X	X	X									
CTC 9	precocidade	X	X	X	X									
CTC 11	produtividade, porte ereto	X	X	X	X									
CTC 15	rusticidade	X	X	X	X									
CTC 17	rusticidade	X	X	X	X									
CTC 20	exigente, sensível seca	X	X	X	X									
CTC 21	responsiva	X	X	X	X									
CTC 8901	adaptada ao cerrado	X	X	X	X									
CTC 8902	adaptada ao cerrado	X	X	X	X									
CTC 8905	precoci, exigente solo	X	X	X	X									
CTC 8906	precoci, exigente solo	X	X	X	X									
IAC 87-3386	ereta, produtividade, mosaico	X	X	X	X									
IACSP 91-1008	rustica, rica	X	X	X	X									
IACSP 95-4038	rica, porte ereto, responsiva	X	X	X	X									
IACSP 95-5004	porte ereto, produtiva	X	X	X	X									
IACSP 95-5094	região de cerrado não floresce	X	X	X	X									
IACSP 96-2042	rica, ferrugem marrom	X	X	X	X									
RB 83-5486	precocidade, floresce	X	X	X	X									
RB 85-5156	rica, precocidade	X	X	X	X									
RB 85-5453	soqueira, produtividade	X	X	X	X									
RB 85-5536	rusticidade, produtividade	X	X	X	X									
RB 86-7015	responsiva a irrigação	X	X	X	X									
RB 92-579	produtividade, pobre	X	X	X	X									
RB 92-8064	responsiva a irrigação	X	X	X	X									
RB 93-509	precoci, soqueira	X	X	X	X									
RB 96-4928	produtividade cana-planta	X	X	X	X									
RB 97-5201	produtividade	X	X	X	X									
RB 98-5476	perfilamento alto	X	X	X	X									
RB 96-7935	responsiva	X	X	X	X									
RB 98-4002		X	X	X	X									
RB 99-395		X	X	X	X									
RB 00- 2754	alto teor de sacarose	X	X	X	X									

* ambiente de produção: A = solos de alta fertilidade a E = solos de baixa fertilidade (critério CTC)

** abr a nov = Centro-Sul; dez a fev = NE

*** baseada na experimentação (bibliografia citada) e áreas comerciais (comunicações pessoais)

Fonte: PEDROSO, modificado por SORDI, 2020.

2.8 Potenciais Produtivos por Região

Em tese de doutorado defendida por MONTEIRO, L.A., 2015, foram simulados valores da produtividade potencial (Y_p) e da produtividade dos melhores produtores (Y_{bf}) durante 30 anos, abrangendo o período de 1984 e 2013, conforme a Figura 12, que mostra os resultados da simulação para obtenção do Y_p (produtividade potencial).

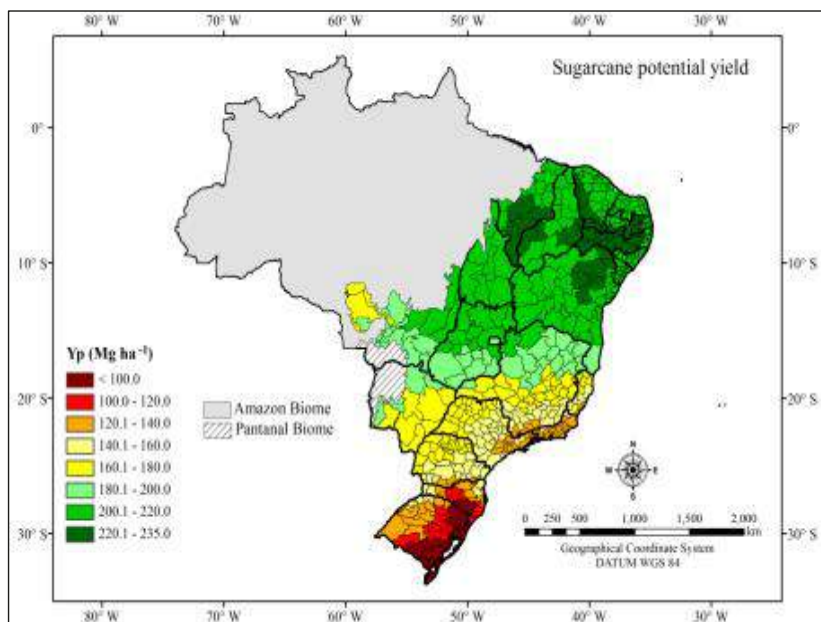


Figura 12 - Produtividade potencial média da cana-de-açúcar nas micro regiões brasileiras (fonte: MONTEIRO, 2015).

Neste trabalho, foram considerados a data/época de plantio e ciclos de cana soca, e as simulações foram conduzidas com periodicidade dez dias, ao longo todo o ano, totalizando 1.080 simulações para cada local. O ciclo total de cana-de-açúcar foi considerado como a média de cinco cortes. As produtividades estimadas foram ponderadas de acordo com as datas de plantio e colheita sugeridos para cada macrorregião disponíveis na literatura e no zoneamento agroclimático oficial do Brasil (EMBRAPA, 2015).

A produtividade média observada da cana-de-açúcar (Yavg) foram obtidas através do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para cada estado e macrorregiões brasileira no período de 1990 a 2012. Esses dados podem ser observados na Tabela 10.

Tabela 10 - Produtividade potencial (Yp), produtividade dos melhores produtores (Ybf) e produtividade média observada (Yavg) nas macro regiões e estados brasileiros.

Região, Estado	Tipos de produtividade (Mg ha ⁻¹)									
	Yp					Ybf				
	Max	Med	Min	CV**		Max	Med	Min	CV**	Yavg*
Sudeste	210,5	168,4	122,1	12,0		115,2	88,8	61,7	13,3	101,1
São Paulo, SP	179,2	154,9	126,4	7,8		115,2	100,7	78,5	6,6	97,4
Minas Gerais, MG	210,5	177,8	126,4	9,7		115,2	82,9	61,7	12,1	101,1
Espirito Santo, ES	187,3	156,4	138,8	7,7		102,0	91,9	78,1	5,5	77,2
Rio de Janeiro, RJ	147,5	133,6	122,1	4,8		102,0	95,4	87,2	3,6	74,1
Nordeste	232,7	215,3	184,0	3,9		102,1	71,4	61,7	12,7	101,1
Alagoas, AL	228,4	212,6	204,0	2,3		82,6	78,2	61,7	6,1	69,7
Pernambuco, PE	232,7	225,0	211,2	2,0		82,6	66,9	61,7	10,2	90,1
Piauí, PI	232,7	219,8	200,1	3,1		74,9	64,6	61,7	7,1	68,3
Bahia, BA	224,0	212,8	184,0	4,2		100,8	70,1	61,7	10,5	101,1
Rio Grande do Norte, RN	226,0	206,5	199,3	2,4		63,1	61,7	61,7	0,4	68,3
Sergipe, SE	221,4	208,9	202,8	1,9		86,0	80,9	72,3	4,1	69,2
Maranhão, MA	224,2	216,3	201,4	3,4		102,1	84,6	71,2	6,5	94,4
Piauí, PI	230,3	217,5	202,4	2,3		92,1	72,1	61,7	8,8	90,1
Ceará, CE	230,3	216,2	198,9	3,9		74,9	62,6	61,7	4,3	61,3
Centro-Oeste	216,5	191,8	162,6	7,0		123,3	98,3	73,6	9,0	97,4
Goiás, GO	216,5	199,6	171,7	5,3		108,5	93,9	73,6	5,0	91,8
Matto Grosso do Sul, MS	195,1	177,8	166,3	3,1		123,3	105,7	89,1	11,2	97,4
Matto Grosso, MT	213,8	195,0	162,6	6,0		115,2	97,0	89,7	4,4	91,8
Sul	171,0	127,5	68,5	20,9		115,7	85,9	74,9	13,4	95,3
Paraná, PR	171,0	154,4	117,8	7,4		115,7	96,3	74,9	14,1	95,3
Rio Grande do Sul, RS	147,4	110,0	68,5	18,7		91,5	81,0	74,9	5,2	62,8
Norte	221,6	216,1	208,5	0,9		115,2	104,3	78,9	6,3	83,0
Tocantins, TO	221,6	216,1	208,5	0,9		115,2	104,3	78,9	6,3	83,0
Brasil	232,7	186,4	68,5	18,4		123,3	85,7	61,7	17,6	101,1

* Produtividade média (IBGE, 2014); ** coeficiente de variação entre locais do mesmo estado, região ou país para valores médios (%)

Fonte: MONTEIRO (2015).

CAPÍTULO 3 – MANEJO DE IRRIGAÇÃO

Visando diminuir o déficit hídrico das mais variadas regiões em que se planta cana-de-açúcar, há no mercado várias modalidades de irrigação, que são classificadas segundo adaptação das definições da Embrapa como: irrigação de salvação, irrigação por déficit e irrigação plena.

Irrigação plena é quando toda a água necessária para atender a demanda hídrica das culturas é aplicada via irrigação. Para o dimensionamento dos projetos, usa-se a maior demanda que ocorrerá durante o ciclo da cultura, ou seja, maior demanda hídrica potencial da cultura. Observa-se que o setor também utiliza o termo suplementar para a irrigação plena.

Irrigação com déficit é quando se planeja atender somente uma fração da demanda hídrica da cultura. O déficit pode ser durante todo o ciclo da cultura ou somente nas fases não críticas ao déficit de água. Neste último caso, obtém-se menores quedas na produtividade potencial da cultura.

Irrigação de salvamento, quando se planeja irrigar somente num período relativamente curto ou em um estágio do cultivo. Exemplo típico ocorre com a cana-de-açúcar, à qual se aplica, via irrigação, a água bruta, água residuária e vinhaça. A aplicação é feita de uma a três lâminas de 30 a 60 milímetros, após o plantio, para cana-planta, ou após os cortes, para cana-soca. Para viabilizar os melhores benefícios deste tipo de manejo se faz necessário que a primeira lâmina seja aplicada até o vigésimo dia após a colheita.

Dentre esses três manejos, a irrigação plena é definida como aquele tipo de irrigação que visa atender toda necessidade hídrica da cultura e pode ser por aspersão fixa ou convencional móvel, carretel enrolador, pivô central, linear e localizada por gotejamento. A irrigação por micro aspersão pode ser utilizada em viveiros de mudas, mas não é viável para a utilização em campo para a cana-de-açúcar.

3.1 Lâminas de Irrigação

Para a determinação da lâmina de irrigação a ser utilizada, alguns conceitos devem ser levados em consideração como: tipo de irrigação, clima,

características do solo, idade da cultura. Sendo que o uso dessas informações também é necessário para a realização de projeto e manejo de irrigação.

A irrigação de salvamento tem como objetivo garantir o plantio e a brotação da soqueira. No plantio, comumente são utilizadas até 3 lâminas de irrigação no total de até 120 mm, aplicadas imediatamente após o plantio. Para soqueiras, normalmente é utilizado 1 ou 2 lâminas de irrigação que podem chegar até 80 mm no total, a ser aplicada até 25 dias após a colheita.

Nos demais tipos, como a irrigação deficitária e a irrigação plena, o conhecimento da ETo e do Kc são necessárias para as tomadas de decisões. A ETo, ou evapotranspiração de referência pode ser obtida através do uso de lisímetros, tanques classe A, estações meteorológicas e quando avaliado juntamente com o Kc, em uma equação descrita por DOORENBOS e KASSAN, 1979 (vide Tabela 8), obtendo-se a ETc, ou seja, evapotranspiração da cultura.

Na irrigação plena, o objetivo é atender em totalidade a ETc, fornecendo à planta exatamente o que foi demandado, enquanto a irrigação deficitária atinge uma porcentagem dessa demanda.

Em resumo para a determinação da lâmina de irrigação a ser aplicada pode-se utilizar a seguinte fórmula:

$\text{mm a ser aplicado} = (ETc - \text{Precipitação efetiva (mm)})$

De acordo com a Embrapa (2003) a precipitação efetiva é a parcela da precipitação que infiltra no solo e permanece disponível para a planta. Segundo HIGGINS (1982) a precipitação efetiva pode ser calculada em termos gerais como 80% da Precipitação Total.

PIRES (2008) ressalta que em solos com baixa capacidade de retenção de água, as irrigações precisam ser mais frequentes e de menores intensidades, ao passo que em solos com elevada capacidade de retenção as irrigações podem ser mais espaçadas e com maiores lâminas.

O conceito clássico de disponibilidade de água no solo, admite um limite superior de retenção de água no solo (capacidade de campo) e outro inferior (ponto de murcha permanente), abaixo do qual a planta não mais absorve água do solo.

A Tabela 11 apresenta os dados de água disponível em diferentes tipos de solo, mostrando que solos argilosos apresentam maior capacidade de armazenamento de água comparados com solos arenosos.

Tabela 11 - Tipos de solo e disponibilidade hídrica.

Tipo de solo	Água disponível (AD)	Água facilmente disponível (AFD)	Água disponível (AD)	Água facilmente disponível (AFD)
	(m ³ em 30 cm de profundidade em 1 ha)		(m ³ em 120 cm de profundidade em 1 ha)	
Areia grossa	38	19	152	76 (7,6 mm)
Areia argilosa	76	38	304	152 (15,2 mm)
Franco arenoso	113	57	452	226 (22,6 mm)
Franco arenoso	151	76	604	302 (30,2 mm)
Franco argiloso	166	83	664	332 (33,2 mm)
Argila	174	87	696	348 (34,8 mm)
Franco argiloso Orgânico	302	151	1208	604 (60,4 mm)

Fonte: Netafim (comunicação pessoal).

DOORENBOS e KASSAN (1979), reportam os efeitos do déficit hídrico e do fornecimento de água no desenvolvimento e produção da cana-de-açúcar. A ocorrência de deficiência hídrica durante o período de estabelecimento e no início do desenvolvimento afeta mais a produção, uma vez que reduz o stand, desenvolvimento radicular e emissão dos perfilhos. No período vegetativo, reduz o alongamento dos colmos, sendo que no início da formação da produção é mais afetado que no final da produção.

3.2 Sistemas de Monitoramento

Para a mensuração da necessidade hídrica da cultura, muitos métodos são utilizados. Dentre eles pode-se citar a Estação Meteorológica, o lisímetro, sonda TDR, os tensiômetros e até mesmo a avaliação visual do turgor das plantas.

3.2.1 Estação Meteorológica

Uma estação meteorológica é um local onde são recolhidos dados para análise do clima. Encontram-se equipadas com instrumentos (ou sensores eletrônicos) de medição e registro das variáveis meteorológicas/climáticas. Os seus dados são utilizados para a previsão do tempo e para a caracterização do clima, pelo

que também podem ser designadas por estações climatológicas. Em nossos dias, por meio de programas de computador, integram-se os dados coletados, permitindo a sua apresentação. Na maior parte das estações de última geração os dados são enviados para computadores remotos, através de linhas telefônicas, rede GSM ou outros meios de transmissão.

3.2.2 Lisímetro

Lisímetro é um tanque inserido no solo, cheio do mesmo solo do local e com vegetação. É utilizado para se medir a evapotranspiração de referência (ET_o) ou da cultura (ET_c). Também é chamado de evapotranspirômetro dependendo de que forma o processo de medição é feito. A mensuração da evapotranspiração é determinada pelo balanço hídrico dos dispositivos. Comumente existe uma balança no fundo do lisímetro onde se pode determinar, dessa forma, quanto de água que evapotranspirou naquele sistema.

Outro tipo de lisímetro usa, ao invés da balança, um sistema de drenagem de água onde quando colocada a água até a capacidade de campo daquele solo, a quantidade de água drenada subtraída da água adicionada é exatamente a quantidade de água evapotranspirada.

3.2.3 TDR

O TDR (Time Domain Reflectometry) tem sido usado como um método para mensurar a umidade através da constante dielétrica e condutividade elétrica do solo pela determinação do tempo de trânsito e dissipação, respectivamente, de um pulso eletromagnético lançado ao longo de sondas metálicas paralelas inseridas no solo. (DALTON, 1993).

A propagação de sinais elétricos no solo é influenciada pela umidade e condutividade elétrica.

3.2.4 Tensiômetro

O tensiômetro é constituído por uma cápsula de cerâmica porosa, conectada a um mecanismo de leitura através de um tubo de PVC com um diâmetro pré-estabelecido.

Seu funcionamento é meramente físico, pois o seu interior é preenchido com água e quando colocado no solo, a água contida na cápsula tende a entrar em equilíbrio com a água presente no solo.

Qualquer alteração na quantidade de água do solo (secamento ou umedecimento) será transmitida à água no interior da cápsula, sendo que essa alteração é registrada pelo medidor (tensiômetro).

No entanto, para manejarmos essa ferramenta corretamente é recomendado seguir uma série de procedimentos que visam desde a sua instalação até a sua assepsia anual, descritas adiante.

Profundidade de Instalação

Os tensiômetros visam estimar a umidade na rizosfera das plantas, por isso, devem ser instalados na profundidade referentes às maiores concentrações das raízes. Para a cana-de-açúcar, na qual 85 % das raízes se encontram a 50 cm de profundidade (MOZAMBANI *et al.*, 2006) a profundidade dos tensiômetros a serem instalados é de 20 cm, 40 cm e 60 cm. Desta forma abrangendo a grande maioria do sistema radicular.

Sequência de instalação

- a) Saturar a cápsula com água fervida (porém fria) por 24h (Figura 13);
- b) No campo, escolher o local que mais representa o talhão. Nunca instalar os tensiômetros próximo a formigueiros, cupinzeiros ou touceiras mortas/ falhas;
- c) Marcar nos tensiômetros a profundidade a ser instalada com fita isolante;
- d) Fazer os furos com um trado próprio para instalar tensiômetros (de acordo com a Figura 14) ;
- e) Colocar uma pequena quantidade de água nos furos para que em seu interior forme “uma lama” no qual proporcionará melhor contato entre a capsula e o solo (Figura 15);
- f) Instalar os tensiômetros e acondicionar um pouco de terra ao seu redor (Figura 16);
- g) Preencher o interior dos tensiômetros com água até a marca localizada na parte superior da haste (Figura 17);
- h) Colocar o leitor (manômetros, adaptador de manômetro digital ilustrado na Figura 18.



Figura 13 - Saturação da cápsula em projeto de irrigação da Netafim, Passos de Minas (fotos de Daniel Pedroso, 2007).



Figura 14 - Tradagem em projeto de irrigação da Netafim, Passos de Minas (foto de Daniel Pedroso, 2007).



Figura 15 - Adição de água após tradagem em projeto de irrigação da Netafim, Passos de Minas (foto de Daniel Pedroso, 2007).



Figura 16 - Instalação dos tensiômetros em projeto de irrigação da Netafim, Passos de Minas (foto de Daniel Pedroso, 2007).



Figura 17 - Completar o tensiômetro com água em seu interior. Projeto de irrigação da Netafim, Passos de Minas (foto de Daniel Pedroso, 2007).



Figura 18 - Tensiômetros analógicos (à esquerda) e digital (à direita) em projetos de irrigação. (foto de Daniel Pedroso, Netafim, Bariri – SP, 2011 e 2020).

Manutenção do tensiômetros

Para melhor durabilidade do tensiômetro, é necessário realizar alguns procedimentos simples de manutenção. São eles:

- a) Sempre observar o limite de água dentro dos tensiômetros, se a água estiver abaixo de 5 cm (3 dedos), completar. Caso o nível de água estiver caindo rapidamente, verificar se a capsula não está danificada;
- b) Misturar um pouco de água sanitária na água que irá completar os tensiômetros. Isso ajuda a prevenir a formação de algas;
- c) Antes da colheita da cana, sempre retirar os tensiômetros e demais sensores do campo;
- d) Após a instalação, cobrir os conectores pois são sensíveis ao sol direto;
- e) Anteriormente a reinstalação dos tensiômetros, realizar a assepsia (Deixar os tensiômetros por 72 h em balde com água + água sanitária e depois enxaguar).

Interpretação das leituras

Quanto mais alta for a leitura do tensiômetro, mais seco estará o solo, sendo as irrigações manejadas de tal forma que haja a umidade ideal para cada fase do desenvolvimento da planta.

3.3 Etapas de irrigação de cana planta e cana soca

3.3.1 Viveiros

A densidade de plantio de um viveiro de mudas de cana-de-açúcar é semelhante e na maioria das vezes idêntica à de um plantio convencional, devido ao intuito de se obter o maior número de colmos por metro e consequentemente maior número de gemas viáveis por metro. Os colmos podem ser utilizados para plantio direto no solo ou pode ser feita a extração das gemas para serem utilizadas no processo de produção de mudas sadias e mudas pré-brotadas.

A produção de mudas de cana em viveiros é atividade importante para multiplicar o material que se quer plantar no canavial. Essa etapa inicial garantirá o futuro da atividade agrícola, por essa razão é essencial iniciar com material certificado, com boas condições fitossanitárias. No viveiro deve-se minimizar todas as restrições possíveis ao crescimento da cana. Deve-se prever excelente preparo de solo, correções e adubações e um bom controle fitossanitário.

É importantíssimo prever irrigações na fase de produção de mudas, porque a deficiência hídrica pode prejudicar ou impedir a brotação das gemas e isso depende da intensidade e da duração do período de deficiência hídrica. A quantidade de água adequada a brotação varia de região para região. O ideal seria manter a quantidade de água sempre próximo da capacidade de campo.

3.3.1.1 MPB – Muda Pré Brotada

A tecnologia conhecida como MPB ou mudas pré brotadas, é caracterizada como um sistema de multiplicação de cana-de-açúcar que tem como princípio o plantio de plântulas, garantindo assim mudas de origem conhecida, saudáveis, livres de pragas e doenças e com alto índice de pegamento.

Para o desenvolvimento dessas plântulas deve-se seguir alguns procedimentos, segundo descrito pelo Programa Cana do IAC (2012). Os chamados “mini rebolos” (Figura 19) utilizados para formação das plântulas são extraídos de colmos sementes vindas de viveiros com plantas de 6 a 10 meses de idade



Figura 19 - Guilhotina para corte dos minis rebois em projeto de irrigação da Netafim, Brasilândia de Minas, MG (foto de Daniel Pedroso, 2007).

Dos colmos colhidos são retirados os “minis rebois” que recebem os tratamentos à base de fungicidas e outros produtos como hormônios enraizadores. Esses “minis rebois” são colocados em caixas de brotação e mantidos em casa de vegetação com, respectivamente temperatura e irrigação controladas (32 °C e 8 mm/dia) (Figura 20). A irrigação é realizada por micro aspersores com vazões que variam de 50 a 200 L/hora. Este período varia entre 7 e 10 dias.



Figura 20 - Acondicionamento dos minis rebois nas caixas de brotação em projeto de irrigação da Netafim, Brasilândia de Minas, MG (foto de Daniel Pedroso, 2007).

As gemas brotadas são transferidas individualmente para os tubetes onde inicia-se a aclimação das mudas, definida em duas fases: fase 1, em casa de vegetação e fase 2, a pleno sol. A fase 1 caracteriza-se por progressiva exposição das mudas à luz, controle de irrigação de acordo com o desenvolvimento vegetativo e poda de folhas para estimular o desenvolvimento do sistema radicular. Essa fase tem duração de 21 dias. (Figura 21).



Figura 21 - Fase 1. Desenvolvimento das plântulas em casa de vegetação. Projeto de irrigação da Netafim, Brasilândia de Minas, MG (foto de Daniel Pedroso, 2007).

Na fase 2 de rustificação as mudas são expostas a pleno sol, as irrigações reduzidas a 4,4 mm dia e as podas ocorrem com frequência semanal para finalizar o processo de produção, ciclo que totaliza aproximadamente 60 dias. Na fase 2 a irrigação é normalmente realizada por aspersores com vazões que variam de 110 a 700 L/h. (Figura 22).



Figura 22 - Fase 2. Processo de rustificação em pleno sol. Projeto de irrigação da Netafim, Brasilândia de Minas, MG (foto de Daniel Pedroso, 2007).

Após a formação das plântulas, o plantio é realizado e pode ser feito de duas formas: manual ou mecânico (Figura 23 e Figura 24).



Figura 23 - Plantio manual (matraca) de MPB.



Figura 24 - Plantio mecanizado de MPB.

Para o plantio manual deverão ser realizadas as operações de sulcação, adubação e aplicação de defensivos. Para o plantio mecanizado, é necessário um bom preparo de solo, para que a plantadeira realize todas as operações mencionadas, ressalta-se que neste caso não haver necessidade de se abrir sulcos prévios no terreno.

As mudas devem distar umas das outras de 0,50 a 0,70 m e o espaçamento entre sulcos deve respeitar aquele já adotado pelo produtor ou Usina.

No entanto, por se tratar de uma planta já pré desenvolvida, ela não contém nenhuma estrutura de reserva e por isso é extremamente sensível ao déficit hídrico. Desta maneira, para o estabelecimento da cultura é necessário que se faça o uso de algum método de irrigação Tal como por autopropelidos, pivô, caminhões pipas adaptados ou por sistema de irrigação localizada móvel.

Em relação a lâmina de água, isso é muito variável de acordo com a textura do solo, clima e época de plantio e cada local tem sua “receita”, sendo que até o presente momento não há nenhum estudo conclusivo sobre esse tema. No entanto,

para a realização do estabelecimento da cultura a lâmina pode chegar até 40 mm, sendo realizada em até 4 aplicações de 10 mm, de acordo com sua capacidade de armazenamento de água.

ELIA (2015) determinou o estabelecimento e desenvolvimento de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar sob diferentes lâminas (10 mm, 20 mm, 30 mm e 40 mm) de irrigação com sistema de alas móveis em 3 aplicações. Constatou que o sucesso da propagação dessa tecnologia está diretamente ligado ao manejo da irrigação principalmente nos primeiros dias após o plantio. A Figura 25 demonstra a irrigação das mudas pré brotadas no primeiro dia após plantio (1 DAP).



Figura 25 - Irrigação ao 1 DAP (dia após plantio) – Piracicaba, SP.

A Figura 26 demonstra a média do número de colmos e falha do canavial (%) aos 206 DAP (período de enchimento dos colmos) para todos os tratamentos propostos na fase de desenvolvimento do canavial de plantio de inverno para as mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar. Aos 206 DAP o número de colmos por metro no tratamento com déficit hídrico foi afetado e apresentou diferença estatística pela falta de água quando comparado com os demais tratamentos.

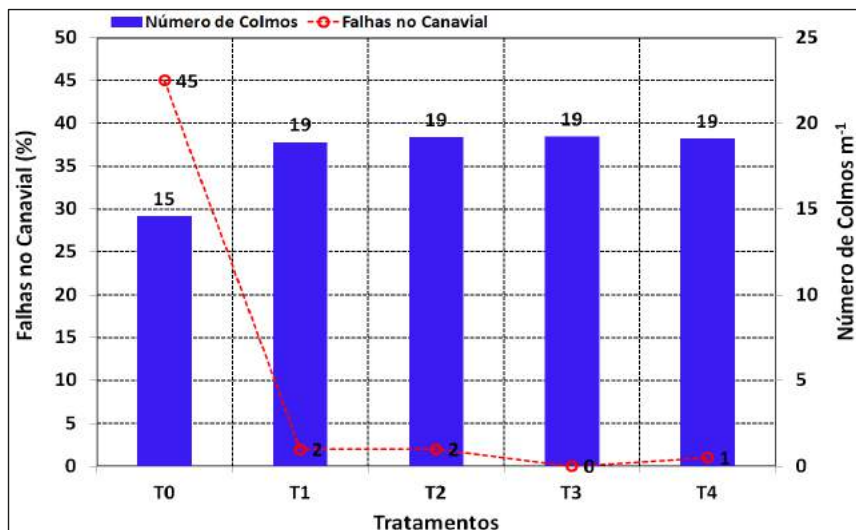


Figura 26 - Número de colmos por metro e falha do canavial aos 206 DAP.

Dessa forma os tratamentos com irrigação tiveram estatisticamente o mesmo número de colmos por metro (NPM) no final do ciclo de desenvolvimento avaliado. Esse menor perfilhamento por metro no final do ciclo constatado no tratamento sem irrigação foi ocorrido principalmente devido ao alto valor na falha do canavial (FV), na ordem de 45 % que impacta diretamente em uma menor quantidade de colmos por metro, sendo que a falha ocorrida foi diretamente influenciada pela taxa de mortalidade (MM) nas mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar ocorrida no início do estabelecimento da cultura canavieira.

3.3.1.2 Produção de Mudanças – Cantose, Faixose e Meiosi

Com a introdução da MPB ressurgiram dois sistemas de plantio conhecidos como cantose e meiosi (BARCELOS, 1984).

Cantose são os viveiros cultivados em um canto do talhão, aproximadamente 20% da área que será reformada. A muda vai sendo cultivada no mesmo local que será depois desdobrada para compor o talhão de cana. Na Cantose pode-se fazer as linhas mãe com mudas de viveiros primários, usando MPB ou mudas tradicionais. Na Figura 27 apresenta-se um layout de irrigação localizada em Cantose

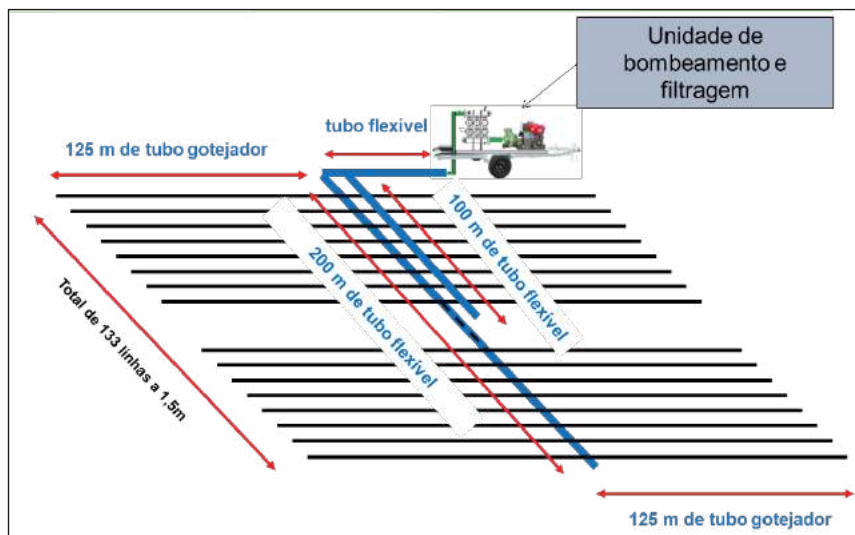


Figura 27 - Layout de irrigação localizada em Cantose.

Faixose é uma modalidade de viveiro que seu conceito é semelhante ao da cantose, porém algumas unidades não têm estrutura de irrigação convencional e seu molhamento é feito por caminhões pipas ou tanques d'água, onde é formada a banqueta (espaço ou caminho onde o equipamento irá transitar) para fazer a irrigação de pegamento das mudas. A grande vantagem é ter a muda na propriedade e poder utilizar o resto da área para fazer rotação de cultura ou adubação verde, sem correr o risco de contaminação do viveiro (fito toxidade, ervas daninhas de difícil controle, entre outros) comparado com as dificuldades da modalidade de meiosi. Além disso pode propiciar uma desdobra mecanizada

Meiosi (Método Inter Rotacional Ocorrendo Simultaneamente) + MPB, planta-se uma ou duas linhas de mudas pré-brotadas numa área de reforma de canavial e deixa-se um espaço entre as linhas, que será plantado com alguma cultura de interesse econômico como soja, amendoim ou adubos verdes. Após a colheita dessa lavoura, as linhas de cana serão cortadas e desdobradas nessa área adjacente. Intercalar culturas com o canavial, reduz custos e melhora a eficiência da reforma, além de ser uma alternativa ao plantio mecanizado.

As linhas de MPB no sistema de Meiosi deverão ser irrigadas para o estabelecimento das plantas e rápido crescimento e dessa irrigação dependerá a taxa

de multiplicação (veja layout na Figura 28). Em geral se consegue 1 linha de cana a multiplicação suficiente para 8 ou 10 linhas de cana, mas existem relatos de taxas muito maiores, como 1:40. As taxas mais comuns de serem alcançadas ficam entre 1:13 e 1:20.

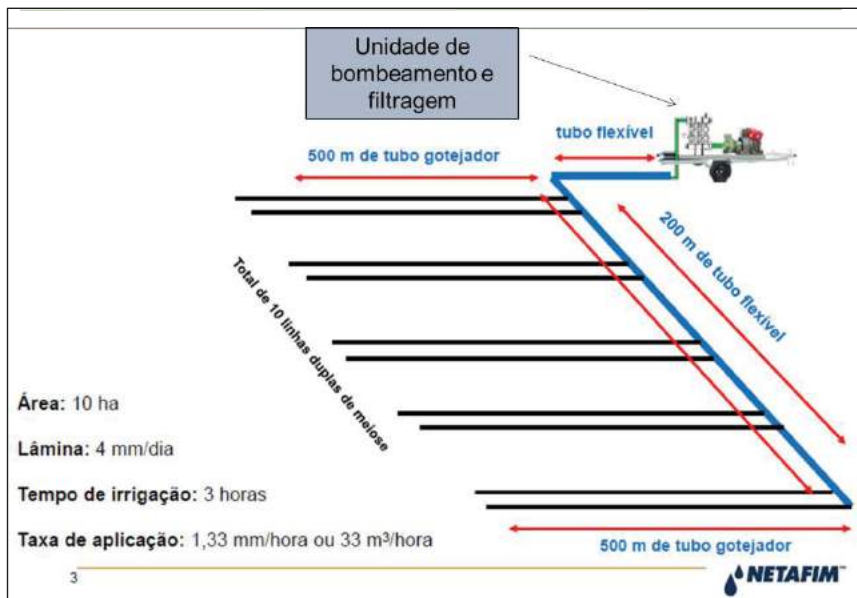


Figura 28 - Layout de irrigação localizada em Meiosi.

Na sequência se ilustram na Figura 29 até a Figura 36, aspectos da irrigação de MPB pelas várias técnicas utilizadas em canaviais.



Figura 29 - Faixose realizada na região de São Joaquim da Barra, SP (2020).



Figura 30 - Faixose realizada na região de São Joaquim da Barra, SP (2020).



Figura 31 - Faixose realizada na região de São Joaquim da Barra, SP (2020).



Figura 32 - Faixose realizada na região de São Joaquim da Barra, SP (2020).



Figura 33 - Produção de Mudas – Meiosi e Cantose na região de São Joaquim da Barra, SP (2020).



Figura 34 - Caminhão pipa adaptado para irrigação em faixose ou meiosi.



Figura 35 - Fotos de um sistema de irrigação por gotejamento móvel para MPB (local: Lins - SP, foto: Daniel Pedroso – Netafim).



Figura 36 - Pivô para irrigação em MPB.

3.3.2 Irrigação de plantio

A tecnologia da irrigação proporciona o aumento da “janela” de plantio da cana-de-açúcar, possibilitando o plantio da cultura nos meses com menor regime de precipitações, como exemplo na região de produção Centro-Sul, cujos plantios no período de maio a setembro, denominado nessa região de plantio de inverno, com colheita 12 meses posteriormente ao plantio.

Nessa situação, utilizam sistemas de irrigação portáteis ou não exclusivos para a área em plantio, como por exemplo o sistema de aspersão via carretel enrolador utilizado na fertirrigação com vinhaça ou sistema utilizado para irrigação de salvamento.

Utilizando a prática de plantio irrigado, obtém-se um melhor aproveitamento da estrutura de plantio, com aumento do período dessa operação, pois os sistemas de irrigação garantem umidade ao solo com condições adequadas para a operacionalidade do preparo do mesmo e brotação e estabelecimento da cultura.

Associado ao ganho operacional, destacam também o bom desenvolvimento agrônômico da cultura, pois nessa fase inicial de estabelecimento o sistema de irrigação supre parte do déficit hídrico nesse período de estiagem.

Quando o plantio é realizado nos meses anteriores ao período de estiagem, é denominado “Cana planta de 18 meses”, plantada de janeiro a abril, sendo sua brotação e estabelecimento garantidos pelo regime natural das chuvas nesse período.

Porém quando se inicia o período de estiagem, ela encontra-se na fase vegetativa de crescimento e é exposta a um stress hídrico acentuado. Em função dessa situação, é possível, a ocorrência de um melhor estabelecimento/produzitividade da cana quando é plantada sob irrigação e cultivada no período de estiagem com ciclo de 12 meses.

Dessa forma havendo infraestrutura de irrigação disponível em uma determinada área é possível realizar o plantio irrigado, que consiste em uma operação agrícola de plantio de cana, utilizando a tecnologia de irrigação, com os seguintes objetivos e possibilidades: condicionamento de umidade ao solo para possibilitar o início do preparo do solo, denominada **Lâmina Pré-Preparo**; condicionamento de umidade ao solo para operação de plantio/brotação da cultura, denominada **Lâmina Pré-Plantio** e condicionamento de umidade ao solo, contribuindo para estabelecimento/desenvolvimento da cultura, denominada **Lâmina de Pós-Plantio**.

3.3.2.1 Lâmina de Pré-preparo

A Figura 37 ilustra a tecnologia da irrigação no pré-preparo do solo. São características das lâminas de pré-preparo:

- tratamento definido em função das condições operacionais x umidade x estrutura do solo antes da operação do preparo do solo;
- lâminas de 25 a 40 mm;

- áreas fertirrigadas, lâmina de vinhaça “pura” pode ser utilizada seguindo a recomendação do PAV (Plano de Aplicação de Vinhaça) para cada Estado;
- essa lâmina pode ser aproveitada para o plantio, caracterizando também pré-plantio;
- intervalo entre a aplicação da lâmina de pré-preparo e a realização do preparo é de 04 dias, podendo variar de acordo com a textura do solo.



Figura 37 - Irrigação pré-preparo do solo.

3.3.2.2 Lâmina de Pré-plantio

A Figura 38 ilustra a tecnologia da irrigação no pré-plantio da cana. São características das lâminas de pré-plantio:

- tratamento definido em função das condições operacionais x umidade x estrutura do solo antes da operação plantio;
- lâminas de 25 a 40 mm;
- áreas fertirrigadas, lâmina de vinhaça “pura” pode ser utilizada seguindo a recomendação do PAV para cada Estado;

- intervalo entre a aplicação da lâmina de pré-plantio e o início do plantio é de 04 dias, podendo variar de acordo com a textura do solo.



Figura 38 - Irrigação pré-plantio da cana.

3.3.2.3 Lâmina de Pós-plantio

Nas Figura 39, Figura 40 e Figura 41 são ilustradas as tecnologias da irrigação no pós-plantio da cana. São características das lâminas de pós-plantio:

- tratamento definido em função das condições climáticas e umidade do solo;
- pode ser utilizada mais de uma lâmina, em função das condições climáticas (período até o início das precipitações naturais);
- em áreas fertirrigadas atentar para o possível efeito de selamento e fitossanitário do solo, usando então águas residuárias ou vinhaça diluída;
- lâminas de 15 a 40 mm.



Figura 39 - Irrigação pós-plantio da cana.



Figura 40 - Irrigação pós-plantio da cana por alas móveis (Foto: Raesa).



Figura 41 - Irrigação pós-plantio da cana.

3.3.3 Irrigação de cana soca

A Irrigação de cana soca, consiste na aplicação de lâminas de irrigação após a fase de colheita, ou seja, na retomada de uma nova safra de produção.

Irrigação Cana Soca: plena ou de déficit

Em áreas atendidas com sistemas de irrigação com capacidade de realizar a irrigação plena ou a irrigação de déficit, essas lâminas são definidas em função do plano de manejo de irrigação adotado, porém se faz necessário um planejamento para conciliar operacionalmente a irrigação com outras atividades de tratos culturais que são realizados pós-colheita, como controle de plantas daninhas, controle de “pragas” de solo e aplicação de corretivos, bem como um alinhamento/planejamento com a adubação via sistema de irrigação, caracterizando a nutrição

Irrigação Cana Soca: de Salvamento: Em áreas que são atendidas com sistemas portáteis, cuja característica é a irrigação de “salvamento”, em que o maior benefício desse modelo de irrigação é garantir a brotação ou reestabelecimento da cultura após a operação de colheita nos meses de estiagem. Na operação de colheita mecanizada pode ocorrer abalo de soqueira, o qual aliado a baixa disponibilidade de

água no solo nessa época, expõe a cultura a uma dificuldade de brotação, com perda de soqueira e redução no stand de planta e consequentemente redução de TCH e longevidade desse canavial nas safras seguintes.

Como a própria denominação recomenda, a irrigação de salvamento é a aplicação de uma ou mais lâminas após a colheita na época de estiagem. A primeira lâmina após a colheita é a mais importante, garantindo umidade suficiente ao solo para o reestabelecimento da cultura. O intervalo entre a operação de colheita e a irrigação pós-colheita deverá ser determinado em função das condições edafoclimáticas, operacionais e variedades cultivadas. Dessa forma, recomenda-se adotar no plano de manejo de irrigação de salvamento o denominado “timing” que se refere ao intervalo máximo em dias entre a colheita e a primeira lâmina de irrigação, em geral de 10 a 15 dias. Salienta-se a importância da definição do intervalo, conjugado com as outras operações, como aplicação de herbicidas e fertilizantes.

Na sequência apresentam-se algumas fotos ilustrativas de irrigação de soqueiras (da Figura 42 até a Figura 46) .



Figura 42 - Irrigação de Cana Soca, Brasilândia de Minas, MG (Foto: Daniel Pedroso, Netafim).



Figura 43 - Irrigação de Cana Soca, Brasilândia de Minas, MG (Foto: Daniel Pedroso, Netafim).



Figura 44 - Irrigação de Cana Soca, Brasilândia de Minas, MG (Foto: Daniel Pedroso, Netafim).



Figura 45 - Irrigação Cana Soca: Salvamento.

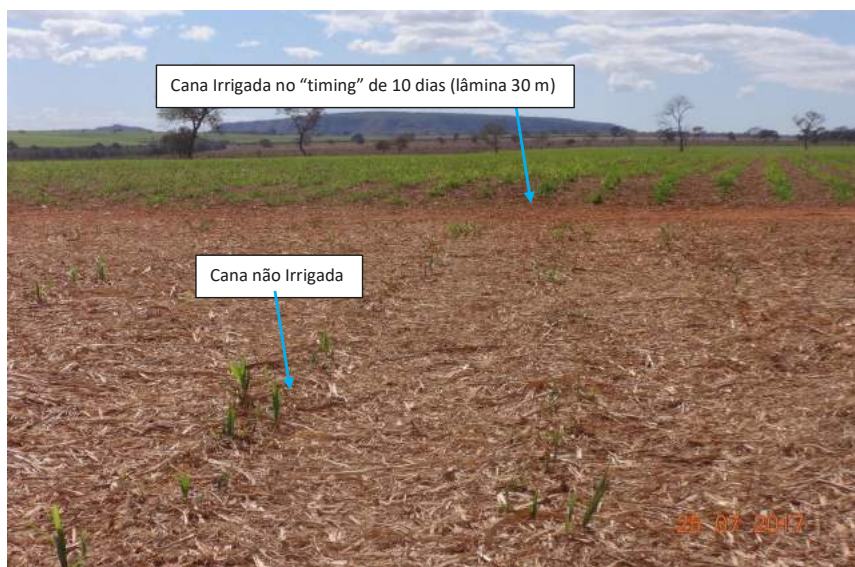


Figura 46 - Irrigação de Salvamento.

3. 4 Dry off

De acordo com INMAN – BAMBER e SMITH, 2005, o estresse hídrico ocorrido na fase de maturação potencializa a produção de sacarose, pois limita seu crescimento vegetativo.

Visando o maior acúmulo de sacarose, antes da colheita do canavial irrigado é realizado a pratica do “Dry off”.

O “Dry off” pode ser entendido como o momento da retirada da água para forçar a planta a acumular sacarose em seus colmos. Essa restrição hídrica pode ocorrer aumentando-se o intervalo entre as irrigações ou interrompendo-as completamente algum tempo antes da colheita.

No entanto, o período ideal para a realização do Dry off ainda é assunto de muita discussão entre especialistas do setor, pois quando realizada no momento incorreto pode levar os canaviais a perdas de produtividade.

De acordo com SCARPARI e BEAUCLAIR (2009) bem como CARDOZO e SENTELHAS (2013), ainda não é conhecido o nível ótimo de água disponível no solo na fase de maturação. Esse valor ótimo seria aquele que preserva a biomassa já produzida, favorece a concentração de açúcar na planta e permite que o processo de síntese de sacarose continue ocorrendo.

KENEDDY e BEZUIDENHOUT, 2000 demonstram que o conteúdo de água disponível no solo em níveis entre 55 – 35% atinge negativamente o acúmulo de açúcar dos canaviais. Em estresse hídrico severo, a síntese de açúcar diminui, assim como a biomassa dos colmos (devido à desidratação destes). De acordo com ROBERTSON e DONALDSON (1998), a produtividade de sacarose com a planta em estresse hídrico ocorre para níveis de desidratação do colmo de até 10%, acima desse nível de desidratação ocorre a queda acentuada no teor de sacarose.

Segundo INMAN-BAMBER (2004), o acúmulo de biomassa na cana-de-açúcar só é significativamente reduzido quando o déficit hídrico anual é superior a 120 mm. No entanto, vários estudos demonstram algumas tendências nesse tipo de manejo.

Segundo ARAUJO *et al.* (2016) os melhores resultados de qualidade da matéria-prima da cana-de-açúcar ocorreram aos 30 dias antes da colheita, período em que a irrigação da cultura pode ser interrompida.

TEIXEIRA (2009) estudou o acúmulo de sacarose (medido pelo açúcar total recuperável - ATR) pela cana-de-açúcar em função da interrupção da irrigação (drying-off) de 10 até 40 dias antes da colheita, não observando diferença estatística entre os tratamentos. Porém, ROBERTSON & DONALDSON (1998) estudaram os efeitos de interrupção da irrigação no período pré-colheita da cana-de-açúcar e observaram que houve aumento da concentração de sacarose (peso seco) sob “drying-off”.

Na Figura 47, apresentada por VIEIRA e DELAZARI (2013) observa-se a evolução do Índice de Maturação (IM) a partir dos 51 dias antes da colheita, além das épocas de interrupção da irrigação para os quatro tratamentos (T1 – corte da água 51 dias antes da colheita, T2 – 37 dias antes da colheita, T3 – 22 dias antes da colheita e T4 – 07 dias da colheita). Os tratamentos T3 e T4, respectivamente apresentaram tendência de crescimento do IM até o momento da colheita, atingindo os maiores valores de índice de maturação, além de estarem na segunda avaliação, acima de 0,85, indicando que a cana estava madura. O tratamento T2 apresentou tendência de crescimento até os sete dias antes da colheita e depois queda, o mesmo ocorrendo para o T1, com decréscimo a 15 dias antes da colheita. Demonstrando entre os tratamentos que o uso do dry off com aproximadamente até 30 dias é o ideal para acúmulo da sacarose e que após esse período ocorre decréscimo da mesma.

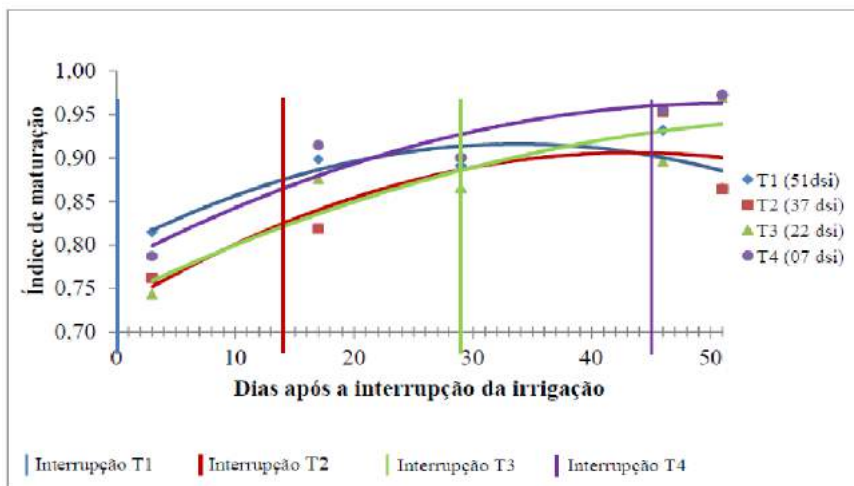


Figura 47 - Evolução dos índices de maturação a partir dos 51 dias antes da colheita e épocas de interrupção da irrigação para cada tratamento. (Fonte: VIEIRA & DELIZARDI, 2013).

Trabalhos práticos em campo demonstram que para solos argilosos (acima de 35% de argila) o período ideal para realização do dry off é de 30 dias, para solos arenosos (argila abaixo de 15%) o período é de 15 dias, sendo que para solos de textura média o período fica compreendida entre essa faixa de tempo.

3.5 Plano de Manejo de Irrigação

Para adoção de um plano de manejo de irrigação primeiramente é necessário definir qual o objetivo da irrigação no cenário, se será uma irrigação apenas para salvação, irrigação por déficit ou uma irrigação plena.

Após escolhido qual tipo utilizar, cabe ao técnico buscar informações das condições edafoclimáticas da região a ser irrigada, como a textura do solo e com isso sua capacidade de água disponível (CAD), a Evapotranspiração de referência (ET_o) e dados de precipitação.

Para a determinação da lâmina a ser utilizada, conhecer a planta, principalmente referente ao coeficiente de cultivo (K_c) é necessário.

Em posse desses dados, já é possível ao técnico tomar a decisão de qual lâmina aplicar (ET_o x K_c – Precipitação), segundo o sistema de irrigação utilizado (hidro holl, aspersão, pivô ou gotejamento) e em posse dos dados da CAD definir qual a frequência ou turno de rega que se pode adotar naquele ambiente.

Para tornar o plano de irrigação ainda mais assertivo estão disponíveis no mercado vários tipos de sensores de umidade (tensiômetros, sondas TDR, dentre outros) os quais podem afinar ainda mais o manejo de irrigação adotado demonstrando quanto eficiente é o manejo realizado.

CAPÍTULO 4 – SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

O interesse pela irrigação, no Brasil, emerge nas mais variadas condições de clima, solo, cultura e situações socioeconômicas. Não existe um sistema de irrigação ideal, capaz de atender satisfatoriamente a todas essas condições e aos interesses envolvidos. Em consequência, deve-se selecionar o sistema de irrigação mais adequado para uma certa condição e para atender aos objetivos desejados. O processo de seleção requer análise detalhada das condições apresentadas (cultura, solo e topografia), em função das exigências de cada sistema de irrigação, de forma a permitir a identificação das melhores alternativas (Andrade, 2006).

Neste capítulo procurou-se apresentar os sistemas de irrigação mais utilizados na cultura canavieira brasileira, apontando suas características básicas e suas principais vantagens e limitações, conforme descrito a seguir.

4.1 Aspersão convencional

No método da aspersão, jatos de água lançados ao ar caem sobre a cultura na forma de chuva. As principais vantagens dos sistemas de irrigação por aspersão são: facilidade de adaptação às diversas condições de solo e topografia; pode ser totalmente automatizado; pode ser transportado para outras áreas; as tubulações podem ser desmontadas e removidas da área, o que facilita o tráfego de máquinas; e os investimentos iniciais são mais baixos quando comparados com outros sistemas.

A irrigação por aspersão convencional se adapta com facilidade a qualquer tipo de solo no que diz respeito à textura e estrutura. Os solos que apresentam textura de alta velocidade de infiltração permitem a utilização de aspersores com maior intensidade de aplicação, assim como com menor tempo de irrigação por posição.

Com a possibilidade da mudança dos bocais dos aspersores, dos espaçamentos entre aspersores e linhas e do aumento ou redução da pressão de trabalho dos aspersores, variando, deste modo, a vazão dos mesmos, pode-se adequar o projeto de acordo com o tipo de solo, ou seja, com maior ou menor capacidade de infiltração da água no solo.

A precipitação instantânea deve estar obrigatoriamente abaixo da VIB (velocidade de infiltração básica), com valores mínimos de 3 a 5 mm/hora, para que não ocorra run-off (escorrimientos superficiais), também pode-se aproveitar com mais

eficiência a água aplicada no solo, melhorando a capacidade de retenção de umidade dos mesmos, evitando que os nutrientes sejam lixiviados a camadas mais profundas, fora da zona do sistema radicular da planta.

Os sistemas de irrigação por aspersão convencional também são indicados na cultura da cana-de-açúcar para irrigação de plantio, principalmente se os mesmos forem feitos com MPB (muda pré-brotada), para plantios no sistema meiosi e para irrigação de soqueira na rebrota.

Como é um sistema que pode ser móvel, pode ser interessante para aplicação de lâminas pós-corte, conhecida como salvamento da cana-de-açúcar, de forma a aumentar o índice de rebrota ao aplicar uma pequena lâmina em uma grande área, agregando assim produtividade e longevidade aos canaviais.

Pode ser recomendado também para áreas com topografia acidentada, inclusive utilizando reguladores de pressão que irão garantir uniformidade na aplicação em toda a área irrigada.

No Centro-Sul do Brasil a irrigação somente com água é uma tendência relativamente nova e promissora, mas que já provou ser rentável quando observa os critérios técnicos e de boas práticas. Na região Nordeste esta prática é mais utilizada.

A irrigação por aspersão convencional é uma ferramenta muito útil às unidades sucroenergéticas, tanto pelo baixo investimento inicial, como, principalmente, para favorecer o planejamento estratégico agrônômico, contribuindo para levar umidade para mais áreas e homogeneizar os stands, prologando seu ciclo e obtendo maiores produtividades.

4.1.1 As configurações do sistema de aspersão convencional

Esse sistema pode ser utilizado com diversas configurações, fixos, semifixos ou portáteis são alguns dos principais grupos de utilização deste método de irrigação.

Nos sistemas fixos, tanto as linhas principais quanto as laterais permanecem na mesma posição durante a irrigação de toda a área. Em alguns sistemas fixos, as tubulações são permanentemente enterradas.

Nos sistemas semifixos, as linhas principais são fixas (geralmente enterradas) e as linhas laterais são movidas, de posição em posição, ao longo das linhas principais.

Nos sistemas portáteis, tanto as linhas principais quanto as laterais são móveis utilizando-se tubos com engate rápido.

Conforme mencionado acima, a irrigação convencional pode ser projetada em diferentes configurações, que proporcionarão condições de operação diferenciadas. Abaixo demonstram-se esquematicamente as configurações.

4.1.1.1 Aspersão Móvel

As tubulações principais, secundárias com os aspersores e até a motobomba são totalmente móveis (vide Figura 49). Durante a operação a tubulação secundária e aspersores se movimentam até completar a irrigação em toda área pretendida, após essa operação todos os equipamentos são retirados e instalados em uma nova área.

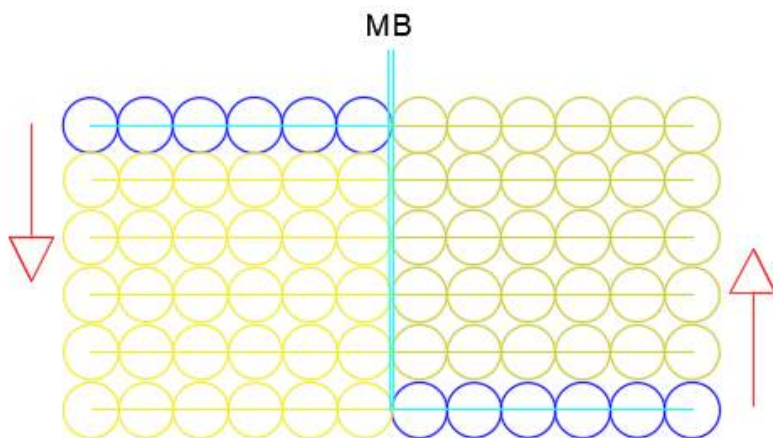


Figura 48 – Fluxo de movimentação das tubulações no sistema móvel.

4.1.1.2 Aspersão fixa automatizada

Neste sistema todos tubos e aspersores são fixos e automatizados (Figura 50), possibilitando a irrigação com alta frequência atendendo a demanda total ou suplementar de água para o cultivo, neste sistema os aspersores devem ser elevados para possibilitar a irrigação mesmo nos períodos onde as plantas estejam com alturas superiores a 3 metros de altura.

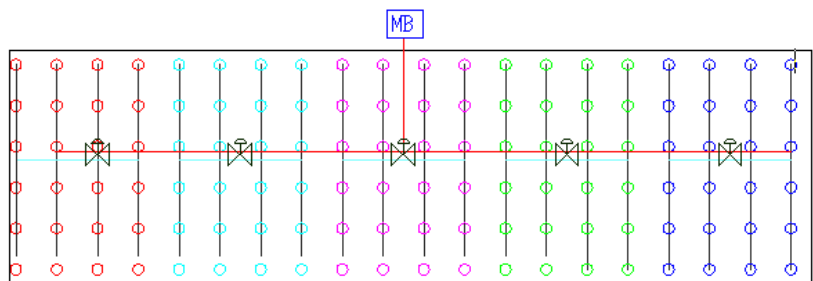


Figura 49 – Layout do sistema fixo de irrigação.

4.1.1.3 Aspersão em faixas

Neste sistema a tubulação e aspersores também são fixos. Porém os tubos podem ter diâmetros reduzidos em função da operação priorizar apenas um aspersor por vez em cada linha de aspersão, cada operação é representada por uma cor de aspersor (Figura 50).

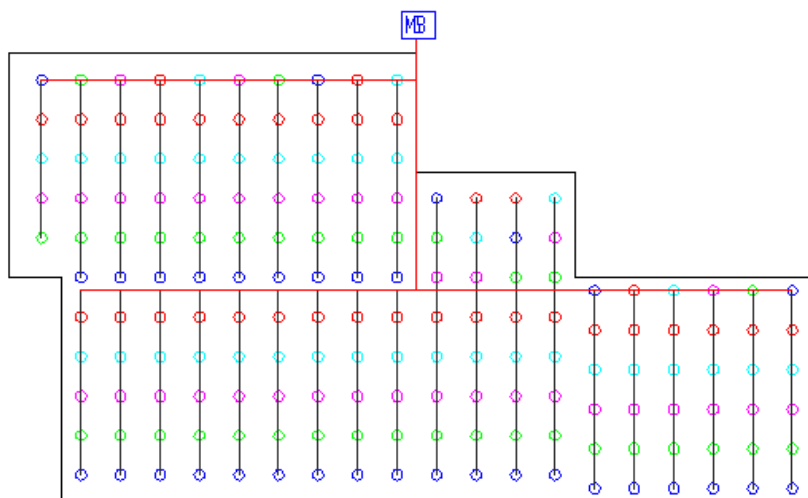


Figura 50 - Layout do sistema fixo por faixa de irrigação.

4.1.2 A seleção do aspersor

Um bom software de simulação de uniformidade é importante para observarmos o comportamento esperado de um aspersor com um perfil de distribuição

conhecido nas condições em que ele será exposto no campo, como o apresentado na Figura 51 a título de exemplo.

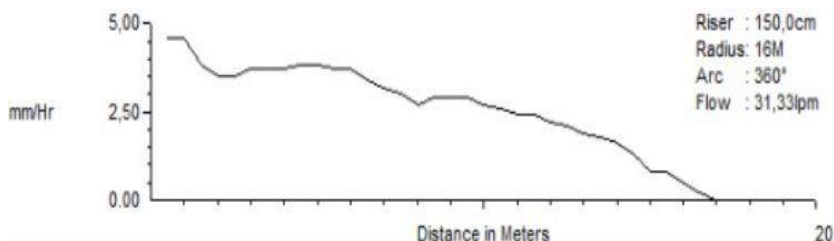


Figura 51 – Perfil de distribuição do aspersor 5035 SD - 1880 L/H.

Conciliar uniformidade de aplicação com a lâmina, espaçamento e taxa de aplicação desejada é uma etapa extremamente importante no projeto de irrigação por aspersão. A sobreposição dos jatos de água, devem culminar em lâminas uniformes próximas e distantes de cada emissor. Na Figura 52 tem-se um exemplo de simulação, demonstrando que é possível trabalhar com elevada uniformidade e baixa precipitação em diferentes condições ambientais e configurações. É possível observar os pontos onde a quantidade de água aplicada é maior e menor. Coeficientes de uniformidade abaixo de 80% e coeficiente de distribuição inferiores a 75% devem ser evitados.

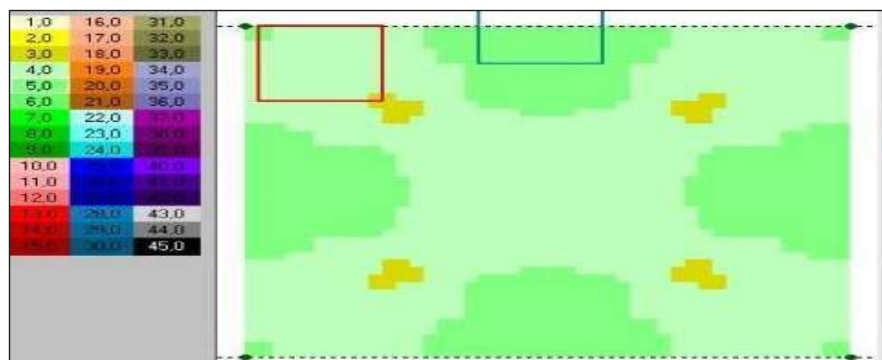


Figura 52 - Simulador do Aspersor 5035SD 1880 LITROS - ESPAÇAMENTO 21m x 21m - CU = 90% DU 86% - 4.3 mm/h.

4.1.3 Principais Aplicações da Irrigação por Aspersão

Como pode ser observado nas sequencias de fotos da Figura 53 até a Figura 56, apesar de simples e com baixo investimento inicial, a aspersão traz excelentes resultados e pode ser utilizado em diferentes condições e etapas do sistema produtivo da cana-de-açúcar.



Figura 53 - Irrigação em canal durante o período de maior déficit hídrico (Foto: Raesa).



Figura 54 - Aspersão garantindo a brotação pós colheita (Foto: Raesa).



Figura 55 - Aspersão móvel garantindo o pegamento de mudas pré brotadas (Foto: Raesa).



Figura 56 - Aspersão com alas moveis garantindo o plantio (Foto: Raesa)

4.1.4 Vantagens e Desvantagens da Irrigação por Aspersão

Na Tabela 12 se resume as principais vantagens e desvantagens do sistema de irrigação por aspersão.

Tabela 12 - Vantagens e desvantagens do sistema de irrigação por aspersão convencional.

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Facilidade de adaptação às diversas condições de solo e topografia	Os custos de instalação e operação são mais elevados que os do método por superfície
Apresenta potencialmente maior eficiência de distribuição de água, quando comparado com o método de superfície	Pode sofrer influência das condições climáticas, como vento e umidade relativa
Pode ser totalmente automatizado	A irrigação com água salina, ou sujeita a precipitação de sedimentos, pode reduzir a vida útil do equipamento e causar danos a algumas culturas
Pode ser transportado para outras áreas	Pode favorecer o aparecimento de doenças em algumas culturas e interferir com tratamentos fitossanitários
As tubulações podem ser desmontadas e removidas da área, o que facilita o tráfego de máquinas	Pode favorecer a disseminação de doenças cujo veículo é a água

Fonte: ANDRADE, B. (2006) - Métodos de Irrigação e Quimigação – Circular Técnica 86 – Embrapa.

4.2 Sistema Aspersão via conjunto carretel enrolador autopropelido

O sistema por aspersão via conjunto carretel enrolador autopropelido, também conhecido por “rolão”, compreende uma estrutura montada sobre um chassi, denominada carretel, o qual aloja uma mangueira, onde em sua extremidade final, encontra-se um aspersor (canhão hidráulico) sobre uma estrutura denominada carro irrigador. A movimentação deste carro irrigador é feita tracionando a própria mangueira que conduz o líquido, o qual transforma parte da energia hidráulica proveniente do líquido pressurizado pela estação de bombeamento móvel em energia mecânica, responsável pela movimentação de recolhimento do carro irrigador.

O sistema de irrigação via carretel enrolador, em geral é formado por uma frente de aplicação, a qual é equipada com os seguintes equipamentos/materiais: 1 estação de bombeamento fixa ou portátil (motobombas ou eletrobombas) para pressurizar o sistema; 1 trator agrícola para a operação de posicionamento da mangueira (esticar a mangueira) na faixa de área a ser irrigada, movimentação do equipamento de uma posição para outra (pontos dos hidrantes) e mudança de áreas

a serem irrigadas; 1 sistema de adutora fixa (enterrada) ou portátil em alumínio, a qual interliga a estação de bombeamento ao conjunto carretel enrolador.

No caso de adutoras portáteis se faz necessário uma estrutura de montagem e desmontagem, com 3 conjuntos de carretéis enroladores, sendo 2 em operação e 1 em espera.

O modelo de aplicação compreende uma estação de bombeamento fixa ou móvel (Figura 57), a qual contempla uma Bomba Centrífuga acoplada a um motor Diesel ou Elétrico, onde as águas são succionadas de canais, caixas ou tanque de sucção; onde a estação de bombeamento pressuriza através de uma adutora móvel aérea de alumínio (Figura 58), fazendo a ligação da estação de bombeamento ao conjunto Carretel Enrolador (Figura 59), finalmente aspergindo a água de irrigação pelo canhão aspersor (Figura 60 e Figura 61). A Figura 62 apresenta uma frente padrão de aplicação de irrigação por aspersão.



Figura 57 - Estação de Bombeamento Móvel.



Figura 58 - Adutora móvel de Alumínio.



Figura 59 - Conjunto Carretel Enrolador.



Figura 60 - Aspersor em funcionamento.



Figura 61 – Canhão aspersor acoplado à mangueira do carretel enrolador.

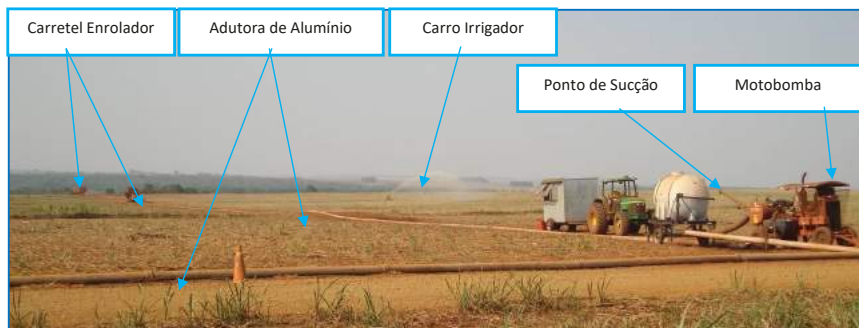


Figura 62 - Exemplo de Frente padrão de Irrigação por aspersão, com 2 conjunto carretéis operando e 1 em espera.

Na operação do sistema carretel enrolador, se faz necessário atenção aos seguintes aspectos: planejamento da área a ser atendida (o ideal é elaborar o projeto em escritório e descarregar no computador de bordo do trator); verificar a lâmina definida para a operação; verificar diâmetro do bocal do aspersor; espaçamento entre hidrantes; paralelismo entre faixas (esticadas) de aplicação; pressão na entrada do conjunto carretel irrigador; velocidade de aplicação média x indicada no painel; monitoramento e controle da operação em tempo integral; e alinhamento das tubulações para minimizar vazamentos nas redes móveis de alumínio.

Na sequência, apresentam-se alguns aspectos de automação necessários para o bom funcionamento da aspersão por rolão, destacando-se na Figura 63 o sistema de monitoramento da operação por barra de luz, com o respectivo painel no trator (Figura 64\0, antena receptora de dados no teto do trator (Figura 65), bem como os resultados obtidos com referência ao paralelismo da aplicação (Figura 66)) e exemplo de resultados da aplicação no mapa apresentado na Figura 67.

Ressalta-se que no lugar do aspersor “canhão” hidráulico pode-se recorrer ao emprego de barra irrigadora dotada com aspersores de baixa pressão, visando melhorar e uniformidade da aplicação e, simultaneamente, reduzir o consumo de energia de acionamento (elétrica ou diesel), conforme se apresentam nas Figura 68 e Figura 69.



Figura 63 - Sistema monitoramento da operação.



Figura 64 - Painel de monitoramento no trator.



Figura 65 - Antena de transmissão de dados no trator.

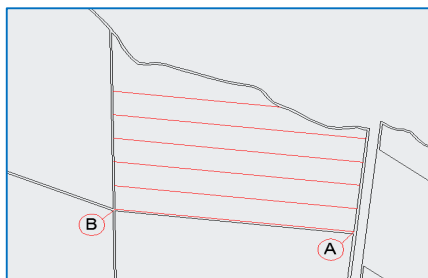


Figura 66 - Mapa de Paralelismo entre posições.



Figura 67 - Monitoramento da operação.



Figura 68 – Aspersão com barra irrigadora acoplada a rolão.



Figura 69 - Detalhe dos aspersores da barra irrigadora.

4.2.1 Vantagens e Desvantagens da Irrigação por Aspersão

Na Tabela 13 se resume as principais vantagens e desvantagens do sistema de irrigação por aspersão com rolão.

Tabela 13 - Vantagens e desvantagens do sistema de irrigação por aspersão via conjunto carretel enrolador autopropelido.

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Baixo custo de investimento por hectare irrigado	Necessidade de mão-de-obra constante durante a operação do sistema
Portabilidade do sistema para atender várias áreas em um mesmo período	Intensidade de aplicação alta, necessitando ajustes de lâmina para cada tipo de solo e topografia, visando minimizar o escoamento superficial
Alta performance operacional para aplicação de lâminas baixas (18 a 50 mm)	Pressão de operação alta em relação aos outros sistemas, impactando diretamente no custo de diesel e/ou energia elétrica
Cobertura de 100% da área com a cultura, possibilita flexibilidade para ajustes de largura e comprimento de faixa irrigada	
Automação e sistema de monitoramento a distância, na faixa irrigada	Em épocas de incidência de ventos, a qualidade de aplicação é afetada, se faz necessário ajustes de espaçamento para minimizar esse efeito
Sistema totalmente removível da área após a irrigação, possibilitando concentrar todos os equipamentos e acessórios em local seguro e facilitando manutenções periódicas	

4.3 Pivô Central

O Pivô Central fixo ou rebocável é um sistema de irrigação por aspersão muito utilizado no Brasil, apresentando movimentação circular de uma linha lateral de 200 a 800 m, suspensa por uma estrutura formada por torres dotadas de rodas e treliças. As torres se movimentam independentemente, acionadas por motores elétricos, promovendo um movimento de rotação em torno de um ponto pivô, que serve de ancoragem e tomada de água.

A velocidade de deslocamento do pivô central pode ser regulada, visando proporcionar condições para a variação da lâmina de irrigação a ser aplicada. Os emissores apresentam pressão de serviço e intensidade de aplicação crescente à medida que se distanciam da torre central (pivô), porque em um mesmo intervalo de tempo cada emissor deve irrigar áreas de diferentes tamanhos. Dessa forma, se faz necessário um equilíbrio referente ao tamanho do pivô central, pois quanto maior o equipamento, menor é o custo por hectare de investimento do mesmo, porém é necessário limitar esse tamanho em função da intensidade de aplicação na

extremidade final (o volume maior aplicado é na extremidade final do equipamento), bem como a potência instalada.

Em projetos de pivô rebocável, se faz necessário avaliar a utilização de equipe de mão-de-obra para a operação de mudança de posição, ou seja, reboque do equipamento, que consiste no preparo do equipamento: “virar os rodados” e reboque com auxílio de um trator. Esse tempo de mudança de posição deve ser levado em consideração referente a capacidade instalada de aplicação do equipamento. Equipamentos com muitas posições de operação, possuem um tempo menor de disponibilidade operacional em relação aos equipamentos com menos posições e principalmente menor tempo de disponibilidade operacional quando comparado com pivôs fixos.

A utilização do aspersor canhão na extremidade final do pivô é opção para agregar mais área, porém se faz necessário não utilizar esse recurso para redução do tamanho do equipamento e sim agregar áreas que não são possíveis atender com o raio do mesmo, pois a qualidade de aplicação do aspersor canhão é reduzida, principalmente em função da ação do vento e de não ter sobreposição de outro aspersor canhão, nesse caso recomenda-se para cálculo da área agregada, somente áreas que estão sob a faixa de 75% do raio de aplicação do aspersor canhão.

No caso do pivô central rebocável, o mesmo equipamento é deslocado para a irrigação de diferentes áreas, com o mesmo tamanho. Assim, é um sistema indicado para a aplicação de baixas lâminas anuais de irrigação e, no caso da cultura canavieira, é bastante utilizado para a irrigação de salvamento de plantios e soqueiras da cultura.

O Sistema de irrigação via pivô central também é utilizado para a operação de nutrição, com isso além de levar água à cultura, permite adicionar fertilizantes, resultando na aplicação de uma solução líquida, que leva nutrientes à cultura através da água de irrigação, reduzindo mão-de-obra, eliminando uma operação agrícola de adubação convencional e principalmente proporcionando o fracionamento da aplicação, em qualquer estágio de desenvolvimento da cultura, melhorando o equilíbrio entre a demanda e o suprimento de nutrientes à cultura. A aplicação de fontes sólidas solúveis, são aplicadas com auxílio de um equipamento que prepara, mistura, agita e faz a injeção dessa “calda” fonte já diluída em água, como exemplo a utilização da fonte de Ureia e MAP – Mono Amônio Fosfato, que comumente são

aplicados via pivô. As fontes de fertilizantes líquidas proporcionam uma operação mais simples, porém a relação custo/benefício, pode direcionar para fontes sólidas.

Para cada fonte de fertilizante, se faz necessário, conciliar a recomendação agrônômica, com a característica técnica específica do equipamento pivô central, relacionado a vazão instantânea, lâmina de aplicação x velocidade do equipamento, pressão de operação no centro do pivô e principalmente relacionado a distribuição de aplicação, listagem correta de emissores, reguladores de pressão, emissores não entupidos.

Outro aspecto importante está relacionado ao manejo operacional da nutrição, que geralmente é feito da seguinte forma: inicia a operação com água limpa até a estabilização do sistema; inicia-se a nutrição, observando a posição desse início; e após finalizar a nutrição, se faz necessário aplicar um período somente com água visando a limpeza do sistema e lavagem da parte aérea externa o quais estão em contato com o líquido.

Na sequência de fotos apresentadas nas Figura 70 até Figura 81, verifica-se vários aspectos da irrigação por pivô central.



Figura 70 - Sistema pivô central plantio circular.



Figura 71 - Sistema pivô central instalado sobre a cultura da cana-de-açúcar.



Figura 72 - Sistema pivô central instalado sobre a cultura da cana-de-açúcar.



Figura 73 - Sistema pivô central rebocável sendo preparado para reboque.



Figura 74 - Sistema pivô central rebocável sendo preparado para reboque.



Figura 75 - Sistema pivô central rebocável sendo preparado para reboque.



Figura 76 - Sistema pivô central rebocável sendo rebocado.



Figura 77 - Sistema pivô central rebocável sendo rebocado.



Figura 78 - Sistema pivô central com aspersor tipo “canhão” no final.



Figura 79 - Operação de fertirrigação via sistema pivô central.



Figura 80 - Operação de fertirrigação via sistema pivô central.



Figura 81 – Detalhe do Sistema pivô central.

4.3.1 Vantagens e Desvantagens da Irrigação por Pivô Central

Na Tabela 14 se resume as principais vantagens e desvantagens do sistema de irrigação por pivô central.

Tabela 14 - Vantagens e desvantagens do sistema de irrigação por pivô central.

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Economia de mão de obra	uso de aspersor canhão no final da linha do pivô, com maior intensidade de aplicação, pode provocar a ocorrência de escoamento superficial;
Boa uniformidade de aplicação	
Baixa pressão de operação, comparado com outros sistemas de aspersão	
Baixo consumo de energia pela baixa pressão de operação	a tangência das áreas circulares irrigadas com pivô central, resulta na formação de áreas não irrigadas, as “bordaduras”
Permite a operação de nutri irrigação com fertilizantes e vinhaça	
Permite conciliar o sistema com outras culturas no período de reforma do canavial	
No caso do pivô rebocável, o mesmo equipamento irriga áreas diferentes	

4.4 Sistema Linear

O sistema linear possui estrutura com torres para sustentar e movimentar a linha principal ao longo da área irrigada, e são indicados para a irrigação de áreas quadradas ou retangulares, e com relevo levemente acidentado.



Figura 82 - Detalhe de um sistema linear de irrigação (Foto: Clebio Matioli).

Para se obter a melhor relação custo/benefício com esse sistema, o ideal são áreas retangulares com comprimento equivalente à de quatro a seis vezes sua largura.

Os sistemas lineares podem ser abastecidos por um canal central ou lateral, além da possibilidade de utilização de mangueiras acopladas a hidrantes de irrigação, instalados em adutoras fixas (enterradas) ou portáteis. Na cultura canavieira os sistemas lineares têm sido indicados e utilizados para a irrigação com déficit (atendimento parcial da deficiência hídrica da cana), visando maximizar a área irrigada por equipamento e auxiliar a viabilidade econômica do sistema.

4.4.1 Vantagens e Desvantagens da Irrigação por Sistema Linear

Na Tabela 15 se resume as principais vantagens e desvantagens do sistema de irrigação por sistema linear.

Tabela 15 - Vantagens e desvantagens do sistema de irrigação linear.

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Maior uniformidade de aplicação, quando comparado com pivô central, em razão dos emissores serem praticamente os mesmos ao longo do equipamento, evitando-se assim altas intensidades no final da linha	Dificuldade no manejo do equipamento no campo, especialmente relacionada ao fato do sistema não estar no ponto inicial da irrigação ao final do percurso, como acontece com o pivô central
Melhor planejamento e manejo das áreas irrigadas, em razão de proporcionar "layout" dos talhões com divisão por faixas	Maior utilização de mão-de-obra quando comparado com o pivô central fixo
Menor perda de carga, principalmente nos lineares abastecidos por canal central, com lances para os dois lados, de modo que a vazão fica dividida	Limitações quanto ao desnível topográfico na área irrigada

4.5 Gotejamento

O sistema de irrigação por gotejamento aplica água diretamente na região radicular, em alta frequência e baixa intensidade de aplicação, através de emissores conhecido como gotejadores, visando suprir a deficiência hídrica da planta, e mantendo o solo próximo à sua capacidade de campo.

Com esse sistema, forma-se uma zona úmida contínua dentro do solo conhecido como bulbo úmido e à medida que há a sobreposição desses bulbos úmidos há a formação da faixa úmida ao longo da linha de gotejadores, daí o nome irrigação localizada, pois irrigada apenas a linha onde está plantada a cultura. Desta forma as perdas de água são reduzidas, desde que tenha sido elaborado um bom levantamento de dados do campo e projeto, uma correta instalação, um bom manejo e uma boa manutenção, obtendo com isso eficiência no uso da água ao redor de 90 a 95%.

Normalmente o sistema de gotejamento em cana-de-açúcar é o SDI (System Drip Irrigation) ou sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial com os tubos gotejadores de 25 a 30 cm abaixo da superfície do solo (vide Figura 83).



Figura 83 – Detalhe do tubo gotejador.

4.5.1 Projeto de Gotejamento

Para elaborar um projeto de irrigação localizada por gotejamento há algumas particularidades a serem avaliadas, conforme abaixo:

- a) Tamanho da área: fundamental para realização do projeto e determinação da quantidade total de água a ser utilizada;
- b) Topografia com altimetria da área: utilizada nos conceitos de engenharia para dimensionamento de motobomba, pressões de trabalho, número de operações, malha hidráulica dentre outras;
- c) Distância e perfil do ponto de captação até a área: fundamental para os dimensionamentos de engenharia, podendo se consultar o Guia de Adutora do GIFC (GUAZZELLI *et al.*, 2018);
- d) Estudo edafoclimático da região: utilizado para determinação da lâmina do projeto, vazão do emissor e espaçamento entre emissores;
- e) Análise da qualidade da água: utilizado para dimensionamento e escolha da filtragem e pré tratamento se necessário;
- f) Pedologia: Caso a área tenha solo com características pedológicas distintas, é importante a demarcação de cada uma delas, não só para o correto projeto da malha hidráulica e manejo da água, mas

principalmente para a fertirrigação, item este de grande importância em cana-de-açúcar irrigada por gotejamento;

- g) Teste de formação de bulbo é importante para o dimensionamento entre gotejadores;
- h) Motobomba: responsável pela pressurização do projeto, podendo ser elétrica ou a diesel, é calculada pela engenharia através de dados topográficos, normalmente a potência necessária é de 1 cv por hectare, podendo ser maior em casos de maior distância e desnível da área e maior lâmina de aplicação de água;
- i) Filtragem: responsável por remover os sólidos em suspensão da água que possam causar obstruções nos emissores. O tipo de filtragem é recomendado pela análise da água, podendo ser de disco, areia ou tela.

4.5.2 Componentes específicos do Sistema de Gotejamento

O sistema é composto por vários componentes e podem ser divididos de acordo com o exposto abaixo:

- a) Sucção: responsável pela captação de água do projeto. Devido a características do corpo de água (variação da altura) pode se optar por sucção fixa ou flutuante;
- b) Automação: utilizado como “cérebro” do projeto. É responsável pela abertura e fechamento das válvulas que estão alocadas em campo, conforme a programação efetuada. Pode ser hidráulica ou pneumática, por rádio, elétrica com cabos individuais para cada uma das válvulas hidráulicas de setor ou “single cable”, o qual consiste em um par de cabos interligando todas as válvulas hidráulicas de campo, tendo esta um terminal remoto que identifica o sinal codificado do controlador, abrindo ou fechando a válvula. Estas duas últimas devem ser evitadas em zonas de incidência de raios ou muito protegidas com relação às descargas atmosféricas. A automação hidráulica ou pneumática é composta pelo controlador, régua de solenoides hidráulico e micro tubos;
- c) Malha hidráulica: constituída normalmente por tubulações de Polietileno e PVC, é responsável por levar a água do ponto de captação até as plantas. É constituída por adutoras, principais ou primárias, ramais ou

secundárias e linhas terciárias ou linhas de gotejadores. Conectado ao sistema de transmissão de água e localizado em cada bloco de campo há um cavalete onde são montadas uma ou mais válvulas hidráulicas de setores ou de operações. Tipicamente, este cavalete consiste de uma válvula hidráulica de controle, uma válvula auxiliar de pressão e regulador de pressão, um ponto de teste de pressão de água, uma válvula auxiliar de ar e uma ventosa;

- d) Emissores: são os dispositivos finais do sistema que aplicam a água para as plantas. São compostos por uma área de filtragem, labirinto e “piscina”. São diferenciados por gotejadores não compensados, que são aqueles que ao se variar a pressão de trabalho há uma variação na vazão, e gotejadores autocompensados, que são aqueles que ao se variar a pressão de trabalho não há variação de vazão, dentro da faixa de pressão característica de cada tubo gotejador autocompensado. No interior dos gotejadores auto compensados há uma membrana de silicone responsável por essa compensação;
- e) Sistema de injeção de produtos: destinados a injetar produtos na água de irrigação, tais como fertilizantes, hormônios, agroquímicos ou qualquer outro produto solúvel e compatível com a água de irrigação e que tenha absorção pelas raízes. Os dispositivos de injeção incluem sistemas diferenciais de pressão, tanque de solubilização e tanque de aplicação, conjunto de sucção tipo sucção Venturi, e bombas diafragma, pistão ou centrífugas. Podem também contar com sistemas automáticos que injetam produtos com volumes e datas programados e com controle da condutividade elétrica e pH da água de irrigação; e
- f) Componentes de segurança: trata-se de sistemas que promovem a segurança do sistema tais como válvulas antivácuos, válvulas de ar, redutoras de pressão, alívio de pressão dentre outras.

Na sequência apresentam fotos dos componentes do sistema de irrigação por gotejamento conforme as Figura 84 até Figura 89.



Figura 84 – Operação de enterrando de tubo de gotejo em Ribeirão Preto – Netafim (Foto: Daniel Pedroso).



Figura 85 – Operação de enterrando de tubo de gotejo, Fazenda São Romão – NaanDanJain.



Figura 86 - Conjunto de filtragem de areia em Ribeirão Preto (Foto: NaanDanJain).



Figura 87 - Conjunto de filtragem de areia em Ribeirão Preto (Foto: Daniel Pedroso).



Figura 88 - Reservatório de sedimentação com aerador para pré-tratamento da água (Foto: NaanDanJain).



Figura 89 - Tanque de solubilização de fertilizantes com soprador (Foto: Daniel Pedroso).

4.5.3 Injeção de Vinhaça via gotejamento

A utilização da vinhaça pode ser uma alternativa técnico-econômica para a substituição total ou parcial dos nutrientes requeridos na adubação. As particularidades de cada um dos projetos de irrigação por gotejamento devem ser consideradas para se definir a utilização ou não da vinhaça, tais como: a distância da destilaria até a área a ser aplicada; a viabilidade do parcelamento desta aplicação; compatibilidade dos equipamentos do sistema de irrigação com a vinhaça; e as características físico-químicas da vinhaça. Especial atenção deve ser dada na aplicação de vinhaça, pois em alguns casos a vinhaça e água de lavagem podem estar misturadas e isto agrava muito o problema de obstrução dos gotejadores, principalmente pela presença de óleos e graxas.

4.5.4 Nutrirrigação de Cana Planta

Nesse tópico, se trata de algumas recomendações no que se refere à condução nutricional da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento, observando que os níveis de nutrientes irão variar em função da expectativa de produtividade almejada para a safra.

Adubação de fundação.

Na aplicação de fertilizantes no sulco, utilizar de 70% a 100% da adubação fosfatada juntamente com micronutrientes na instalação da cultura, complementando os 30% restantes, caso necessário, em cobertura, através da nutritrigação. Para tanto, a decisão de quanto utilizar será tomada incluindo a avaliação e comparação dos custos das fontes fosfatadas a serem utilizadas.

Fertilizantes de fundação.

Os fertilizantes que podem ser utilizados na adubação de fundação são relacionados adiante. Enfatiza-se que, devido à baixa solubilidade desses produtos, eles devem obrigatoriamente ser aplicados mecanicamente, não podendo ser veiculados na água de irrigação por gotejamento.

- **Fontes Fosfatadas:** Super simples, super triplo, MAP, DAP, fosfatos naturais reativos ou fórmulas comerciais fosfatadas;
- **Fontes de Micronutrientes:** Utilizar fontes simples de micronutrientes ou utilizar fórmulas comerciais fosfatadas que contenham micronutrientes. Para o cálculo da dose, recomenda-se utilizar os manuais de adubação levando em consideração a análise de solo de cada área. Em geral, a

dose varia de 120 a 200 kg/ha de P_2O_5 na operação de plantio. Caso a análise de solo indique a necessidade, complementação da adubação com fósforo pode ser feita nas soqueiras, aplicando em geral 30 kg/ha de P_2O_5 .

- **Fertilizantes de cobertura:** Para realização da adubação de cobertura, serão utilizadas fontes solúveis, uma vez que essa operação será realizada via nutrição, As fontes de nutrientes mais utilizadas para este tipo de adubação estão relacionadas na Tabela 16.

Tabela 16 - Fontes solúveis de nutrientes mais utilizados em adubação por cobertura via gotejamento.

NUTRIENTE	FERTILIZANTES SOLÚVEIS EM ÁGUA	GARANTIA DE NUTRIENTE
Nitrogênio	Uréia	45%
	Nitrato de Amônio	34%
	Sulfato de Amônio	21%
Fósforo	MAP Purificado	60%
	Ácido Fosfórico	17%
Potássio	Cloreto de Potássio Pó Branco	60%
	Sulfato de Potássio	50%
	Nitrato de Potássio	45%
Magnésio e micronutrientes	Utilização de sais ou produtos quelatizados	-

Na Tabela 17 encontra-se a relação recomendada para o cálculo da dose do nutriente a ser utilizada no ciclo da cultura, de acordo com a produtividade almejada para a próxima safra.

Tabela 17 - Relação de nutriente por expectativa de produção – cana planta.

Macronutrientes	Kg/t de cana-de-açúcar
Nitrogênio	0,7 – 1,2
Potássio	1,5 – 1,8
Micronutrientes	g/t de cana-de-açúcar
Boro	1 – 2
Cobre	2 – 3
Manganês	3 – 5

A época de aplicação, bem como o parcelamento em relação a adubação deve se seguir a curva de absorção dos nutrientes, conforme apresentado Figura 90.

Identificação da marcha de absorção de nutrientes da cana-de-açúcar por gotejamento

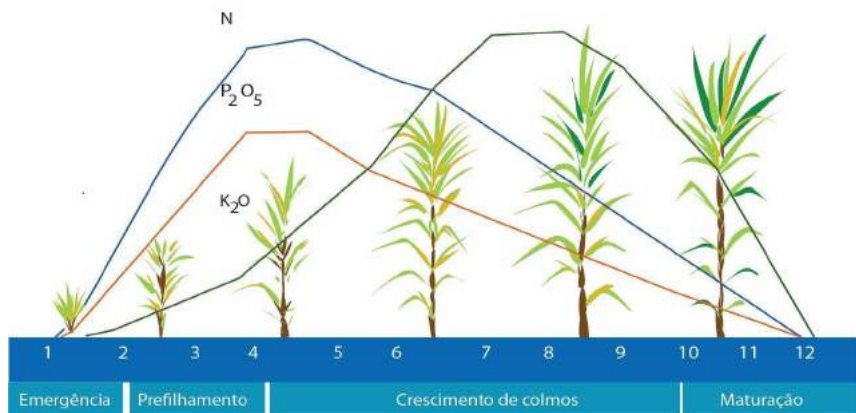


Figura 90 - Identificação da marcha de absorção de nutrientes da cana-de-açúcar por gotejamento. Fonte: Oliveira et al (2017).

4.5.5 Nutrirrigação de Cana Soca

A adubação da cana soca pode ser realizada totalmente através da nutritirrigação. Porém, devido aos custos da adubação fosfatada, deve-se avaliar financeiramente o uso de adubação mecânica apenas para o elemento fósforo. A Figura 18 apresenta a relação recomendada para o cálculo da dose de fertilizante a ser utilizada, de acordo com a produtividade esperada para a próxima safra.

Tabela 18 - Relação de nutriente por expectativa de produção – cana soca.

Macronutrientes	Kg/t de cana-de-açúcar
Nitrogênio	0,7 – 1,2
Fósforo	0,5 – 0,8
Potássio	1,5 – 1,8
Micronutrientes	g/t de cana-de-açúcar
Boro	1 – 2
Cobre	2 – 3
Manganês	3 – 5
Zinco	1 – 10

Em relação ao magnésio, normalmente esse elemento é suprido pela operação de calagem do solo, no entanto, caso seja detectado sua deficiência, deve-se aplicar 0,5 kg/t de cana-de-açúcar desse elemento, através de produtos solúveis e de ação imediata, como por exemplo sulfato de magnésio.

4.5.6 Características dos fertilizantes utilizados no gotejamento

Para a realização da nutrição não é necessário a aquisição de nenhum fertilizante especial, no entanto, alguns cuidados para a escolha devem ser seguidos. Entre esses estão a solubilidade em campo, o índice salino, a condutividade elétrica, compatibilidade com a água de irrigação e os fertilizantes utilizados.

A seguir, encontram-se na Tabela 19 e na Figura 91 dados sobre solubilização de fertilizantes que podem ser utilizados na realização da nutrição.

Tabela 19 - Solubilidade de fertilizantes.

Solubilidade de Fertilizantes	Kg para formar 100 L de solução
Ureia	20
Nitrato de Amônia	45
Sulfato de Amônia	35
Nitrato de Cálcio	43
MAP – Mono Amônio Fosfato	23
Cloreto de Potássio	22
Sulfato de Potássio	10
Nitrato de Potássio	11
Sulfato de Magnésio	45

Como citado anteriormente é importante a comprovação da compatibilidade do ou dos produtos a serem aplicados com a própria água de irrigação. Como exemplo cita-se: caso o pH de estabilidade do cálcio na água de irrigação esteja muito próximo ao pH da água, a adição de qualquer fertilizante de reação básica, vai alterar o pH para um valor maior, precipitando o cálcio, podendo este precipitado obstruir parcial ou totalmente o gotejador.

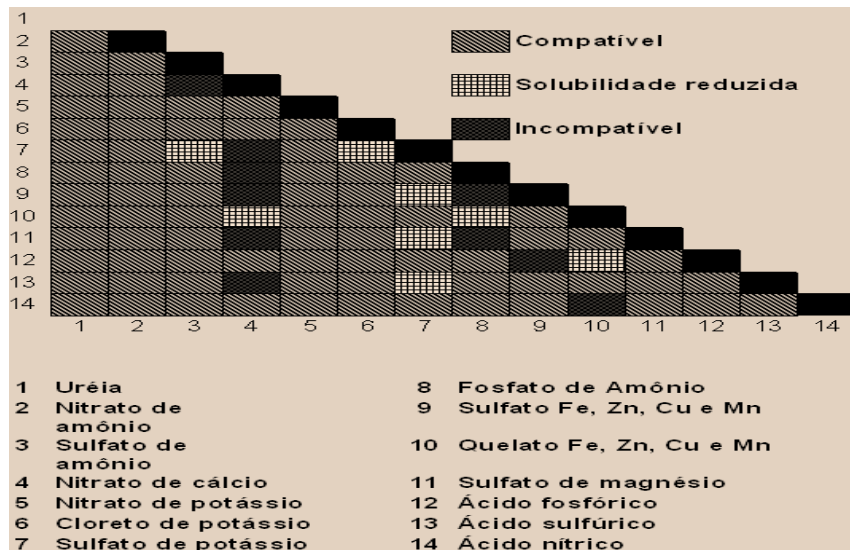


Figura 91 - Solubilidade de alguns fertilizantes.

4.5.7 Vantagens e Desvantagens da Irrigação por Gotejamento

Na Tabela 20 se resume as principais vantagens e desvantagens do sistema de irrigação por gotejamento.

Tabela 20 - Vantagens e desvantagens do sistema de irrigação por gotejamento.

VANTAGENS	DESvantagens
Economia de água	Dificuldade em acompanhar visualmente e testar os emissores
Menor susceptibilidade aos tratos culturais, já que as tubulações não ficam expostas	
Maior volume de solo molhado que o sistema de gotejamento superficial	Potencial acúmulo de sais na região do perfil acima da linha lateral e abaixo da superfície do solo
Melhor uniformidade de irrigação com gotejadores autocompensados, mesmo em solos com desníveis	
Redução do vandalismo	Potencialmente suscetível à intrusão de raízes
Fertilização mais eficiente	
Maior durabilidade dos materiais	Reduzido movimento vertical ascendente em solos arenosos
Menor incidência de ervas daninhas	
Evita o empoçamento superficial	
Não molha a parte aérea das plantas	
Não é influenciado negativamente pelo vento	

Fonte: adaptado de: Gotejamento subterrâneo – NOGUEIRA L. C., NOGUEIRA L. R. Q., GORNAT B., COELHO E. F. – Embrapa CPATC Doc.06.

A sequência de fotos apresentadas nas Figura 92 até Figura 95, ilustra-se canaviais irrigados por gotejamento.



Figura 92 - Canavial irrigado por gotejamento (Foto: NaanDanJain).



Figura 93 - Canavial irrigado por gotejamento (Foto: NaanDanJain).



Figura 94 - Canavial irrigado por gotejamento (Foto: Daniel Pedroso - Netafim).



Figura 95 - Canavial irrigado por gotejamento na região de Ribeirão Preto (Foto: Daniel Pedroso).

CAPÍTULO 5 – PROJETOS DE IRRIGAÇÃO

A fase de projeto inicia-se após a elaboração do plano diretor de irrigação ou estudo de caso, que são responsáveis pela validação técnica, financeira e econômica para implantação de um sistema de irrigação.

A elaboração de um projeto de irrigação contempla, na escolha do sistema de irrigação, layout da área a ser irrigada, definição da cultura com maior demanda hídrica seguido da estimativa da evapotranspiração e por fim, os cálculos hidráulicos e elétricos, que devem ser alicerçados em parâmetros e critérios agrônômicos e de engenharia hidráulica e de irrigação.

Os cálculos hidráulicos possibilitam o dimensionamento do sistema de bombeamento (ligação de sucção e pressão, seleção de bomba), de transporte (adutoras e/ou canais), e de aplicação, que é o tipo de irrigação escolhido. Essa etapa é a base para a definição das demandas de requisitos mecânicos, elétricos e civil, cujo conjunto deverão fornecer as condições ideais de implantação e operação do projeto de irrigação.

O projeto é uma etapa essencial, ele fundamenta a implantação e a operação das áreas irrigadas. Os objetivos do projeto devem estar alinhados com a expectativa de cada caso. É fundamental que o projeto considere as condições específicas de produção de cada área, condições climáticas, de solo e da topografia, assim como a necessidade hídrica da cultura e a disponibilidade de água para a irrigação, visando atingir e manter a produção e os rendimentos agrícolas almejados.

5.1. Premissas de Projeto

5.1.1 Área Irrigada

Definição da área a ser irrigada, em que se faz necessário a análise de alguns parâmetros: mapa topográfico da área; disponibilidade de volume, qualidade da água a ser utilizada e identificação de ponto de captação (mesmo ponto da outorga); caracterização físico-hídrica do solo, com elaboração da curva de retenção de água no solo e capacidade de infiltração; disponibilidade de energia (elétrica, diesel e solar); anuência de proprietários; modelo e tempo de contrato de utilização das áreas; possibilidade de expansão; identificação de obstáculos, como redes de energia elétrica, árvores isoladas na área, travessias sobre APPs (áreas de preservação

permanente), travessias sobre/sob rodovias e ferrovias, edificações, dentre outras; licenciamento ambiental; e cronograma de implantação da cultura x projeto.

5.1.2 Sistema de Irrigação

Definição do sistema de irrigação e/ou combinação de sistemas para a área selecionada, deverá ser em função dos parâmetros levantados no item anterior, cuja pré-análise é feita no plano diretor ou no estudo de caso e a definição se faz nessa etapa do projeto.

5.1.3 Vazão requerida

O estabelecimento da vazão é a premissa principal no dimensionamento hidráulico de um sistema de irrigação, a qual é o resultado do volume de água necessário para atender a cultura no período mais crítico, que corresponde a fase da cultura com as condições climáticas, que pode ser definida como o volume necessário para um período de tempo determinado. Uma vez conhecido esse volume o mesmo é ajustado para a vazão necessária por hora, definida pela unidade m^3/h .

O tempo diário disponível para operação do sistema é fator determinante para definição da vazão de projeto, sendo, que quanto maior o tempo menor é a vazão e consequentemente menor a potência energética instalada, bem como o dimensional das tubulações e componentes hidráulicos. Em geral os projetos de irrigação fixos são elaborados para 20 horas por dia e os projetos portáteis em função das horas disponíveis de trabalho da equipe de campo. Porém se faz necessário verificar o tempo diário de utilização da outorga e também análise referente ao custo de energia elétrica nas faixas de cada horário, quando o fornecimento é via concessionária.

5.1.4. Topografia

As informações topográficas da área a ser irrigada, são também a base para a elaboração do projeto de engenharia de um sistema de irrigação, sendo necessário as seguintes informações:

- a) Ponto de captação ou tomada de água, com cotas de nível máximo e mínimo da lâmina de água;
- b) Perfil de elevação do terreno, referente ao caminamento do ponto de captação até a área a ser irrigada, com estaqueamento máximo de 50 m;

- c) Levantamento planialtimétrico da área irrigada, com curvas de nível de 1,0 em 1,0 m e identificação das curvas mestras de 5,0 em 5,0 m;
- d) Identificação dos talhões e sentido de plantio;
- e) Identificação de redes elétricas, árvores, edificações e quaisquer outros “obstáculos” existente na área de abrangência do projeto a ser instalado;
- f) Levantamento específicos para instalações de infraestrutura, exemplo no caso de reservatórios, levantamento planialtimétrico com curvas de 20 em 20 cm e curvas mestras de 1,0 em 1,0 m;
- g) Assinatura de responsabilidade técnica (ART) referente ao levantamento topográfico

5.1.5. Definição de dados técnicos/operacionais e layout

O layout do projeto com a planilha de dados técnicos e operacionais iniciais são as primeiras entregas do projeto. Estes dados devem ser apresentados para validação completa das premissas do projeto, o qual deverá contemplar dados técnicos e layout.

Os dados técnicos dizem respeito a:

- a) Área útil Irrigada;
- b) Espaçamento da cultura;
- c) Lâmina aplicada;
- d) Horas de operação;
- e) Modelo operacional específico do sistema;
- f) Histograma de mão-de-obra para operação do sistema;
- g) Infraestrutura operacional necessária (exemplo trator, gerador elétrico ou diesel, etc.)
- h) Vazão necessária;
- i) Estimativa de potência;
- j) Nível de automação e controle;
- k) Modelo do sistema de bombeamento a ser adotado;
- l) Modelo do sistema de proteção contra transitórios hidráulicos;
- m) Critérios de projeto a ser adotado;
- n) Velocidade máxima nas tubulações;
- o) Fórmulas hidráulicas adotadas;
- p) Sistema “pulmão” de reservação;

- q) Sistema de tratamento e filtração de água, quando aplicável;
- r) Cronograma de instalação;
- s) Licenciamento em geral (ambiental, estradas, travessias, etc.);
- t) Revisão/atualização das estimativas de investimentos;

Os mapas apresentados nas Figura 96 até Figura 99, exemplificam as possibilidades de layout em diferentes sistemas de irrigação, observando-se:

- a) Ponto de captação;
- b) Traçado de adutoras;
- c) Posicionamento de infraestrutura específica, tais como reservatório pulmão, sistema de bombeamento, cabeçal de controle e filtração, cabeçal de injeção de fertilizantes e outros;
- d) Posicionamento do equipamento em campo;

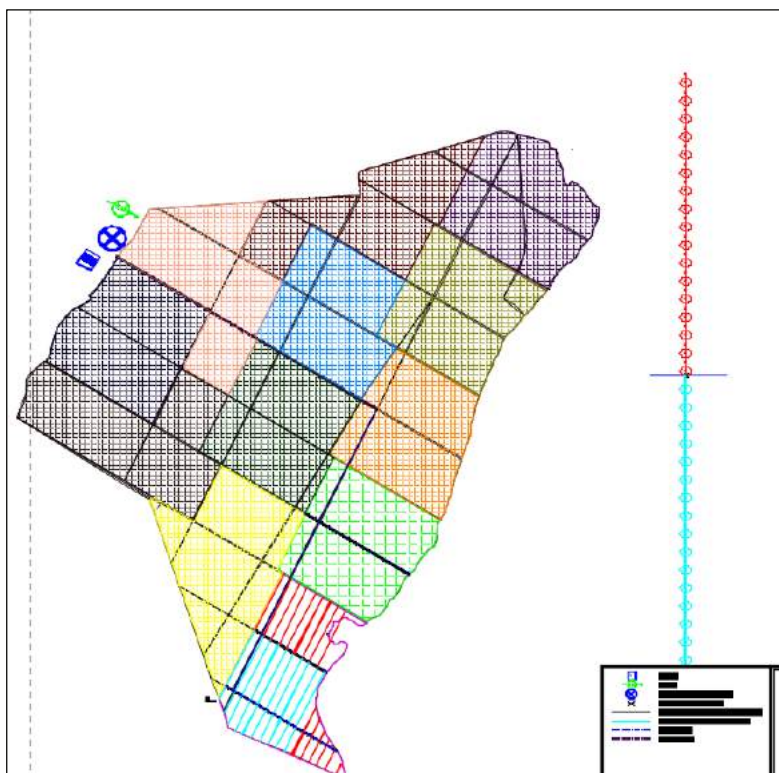


Figura 96 - Layout básico projeto aspersão.

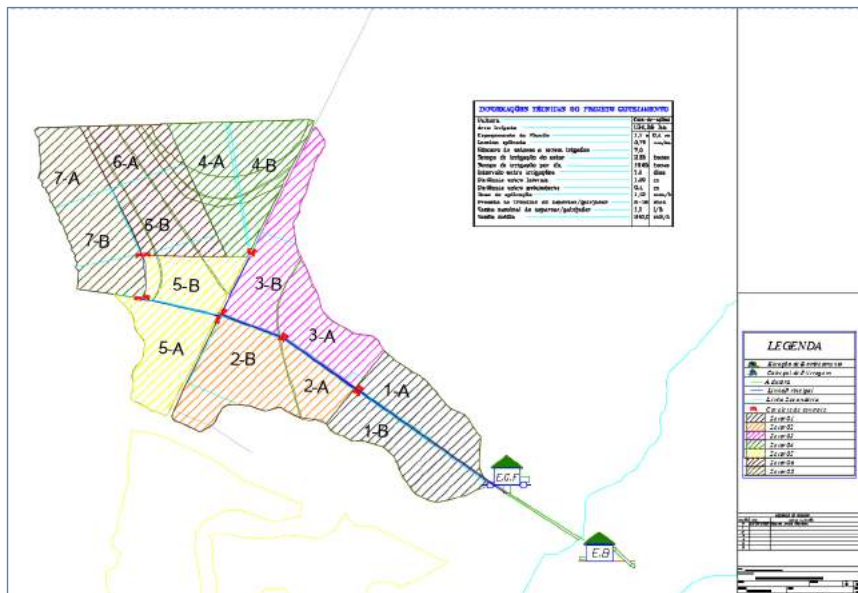


Figura 97 - Layout básico projeto gotejo.

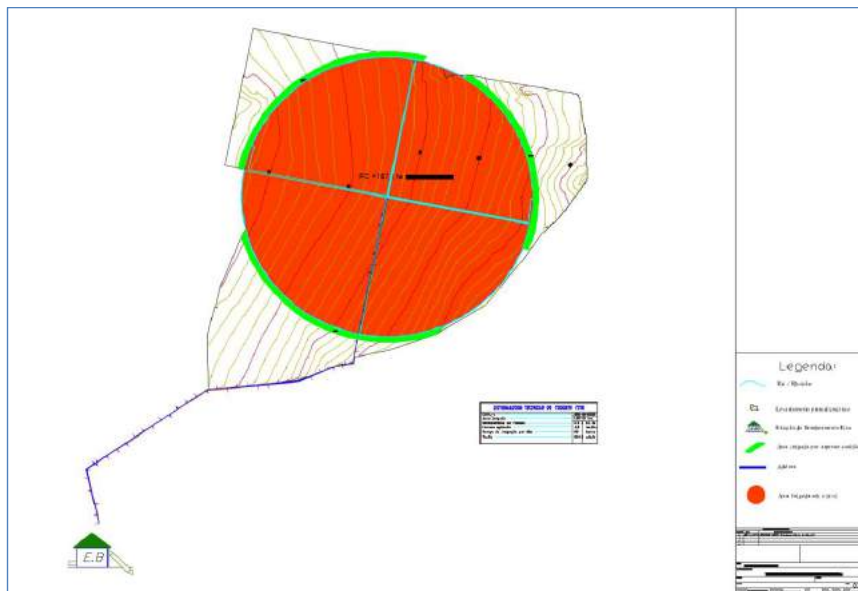


Figura 98 - Layout básico projeto pivô.

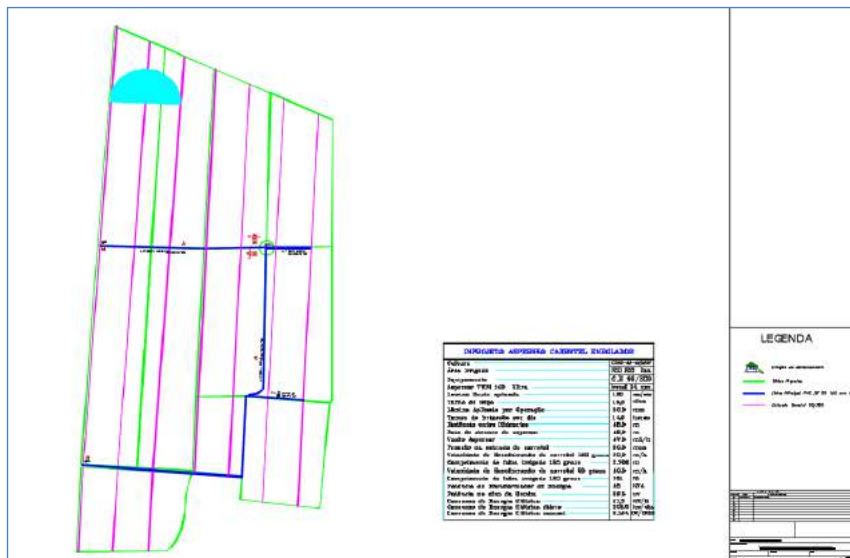


Figura 99 - Layout básico projeto Carretel.

5.1.6. Informações Complementares

Após a validação das premissas, se faz necessário levantamento topográfico complementar e específico das “obras de arte” como reservatórios, estação de bombeamento, e trechos de travessias específicas.

5.1.7. Dimensionamento Hidráulico

O dimensionamento hidráulico consiste no cálculo para obtenção do ponto de operação ou pontos de operação hidráulica para o funcionamento do sistema de irrigação estabelecido. O ponto de operação consiste no volume necessário para obter a lâmina de projeto, que é determinado por uma vazão (Q), combinado com uma pressão necessária, denominada altura manométrica (Hm).

A altura manométrica é calculada da seguinte forma:

$$H_m = H_g + H_f + P_i$$

Onde:

- Hm = altura manométrica total (mca);
- Hg = altura geométrica (m);
- Hf = Perda de carga, (mca);
- Pi = Pressão de operação do sistema de irrigação (mca);

A potência necessária para obtenção ponto de operação ou pontos de operação, que será fornecida é calculada com a seguinte equação:

$$PM = (Q \times Hm) / (2,70 \times Eb \times Em)$$

Em que:

- PM = potência necessária do motor (cv);
- Q = vazão de projeto (m³/h);
- Hm = altura manométrica total (mca);
- Eb = eficiência da bomba (%);
- Em = eficiência do motor (%).

Exemplo de cálculo para motor elétrico:

$$PM = (50\text{m}^3/\text{h} \times 110\text{mca}) / (270 \times 0,7 \times 0,9) = 32,3 \text{ cv}$$

Motor Comercial: 40 cv

5.2. Projeto detalhado

5.2.1 Sistema de Captação e bombeamento

Para o atendimento do ponto ou pontos de operação do sistema de irrigação, se faz necessário a instalação do sistema de bombeamento, o qual é o “coração” do sistema, composto por bombas, que são máquinas geratrizes, responsável pelo deslocamento da água por escoamento em tubulações, recebendo energia mecânica através de um motor, elétrico ou diesel, que será transformada em energia hidráulica, por meio de um movimento contínuo e uniforme.

Os tipos de bombas mais utilizados são as do tipo centrífuga, sendo monoestágio, com somente um rotor ou multiestágio, com mais de um rotor. As bombas centrífugas são subdivididas conforme o tipo de rotor, podendo ser: aberto; fechado; ou semifechado.

O modelo do sistema de captação a ser adotado é definido em função do local da disponibilidade de água, em que se tem as seguintes possibilidades: captação superficial em curso d'água (rios, riachos, córregos, canais); captação em barramentos; captação em poços subterrâneos; ou captação em reservatórios revestidos.

5.2.2 Ponto de Captação

O ponto de tomada de água ou ponto de captação de água é a extremidade inicial de um sistema de bombeamento, onde é instalado a ligação de sucção, cuja estrutura deve garantir o pleno funcionamento em qualquer época do ano, atendendo

a vazão referente ao ponto de operação do sistema, de acordo com as características da bomba selecionada no projeto, principalmente referente ao NSPH requerido pela mesma.

Em geral, as captações para sistemas de irrigação, são em cursos água e superficiais, localizadas à margem dos mesmos, priorizando trechos retilíneos, ponto que garanta a qualidade da água captada e vazão necessária constante, bem como facilidade de acesso para instalação e manutenção de equipamentos.

As estruturas de captação para instalação de ligação de sucção, são classificadas em relação a posição do eixo da bomba e o nível da superfície da água da seguinte maneira: sistema de sucção Positiva: o eixo da bomba localiza-se acima do nível d'água e sistema de sucção Negativa ou afogada: o eixo da bomba localiza-se abaixo do nível d'água (Figura 100).

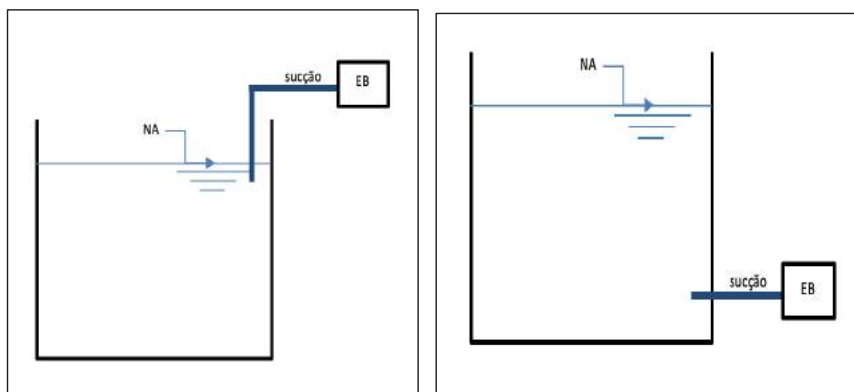


Figura 100 - Esquemático de sistema de sucção positiva e negativa (ou afogada).

5.2.3 Estação de bombeamento

A estação de bombeamento é o principal componente de um sistema de irrigação pressurizado e devido as condições locais da instalação, critério de projeto, atendimento às normas e legislação, se faz necessário definir parâmetros de instalação: estação de bombeamento fixa ou móvel; instalação em solo ou em flutuante/balsa; sucção positiva ou negativa; sistema elétrico ou diesel; sistema de acionamento manual ou automático; e automação para controle e monitoramento.

Nas fotos apresentadas nas Figura 101 até a Figura 107 podem ser observados as várias opções de captação de água e os componentes da Estação de Bombeamento (EB).

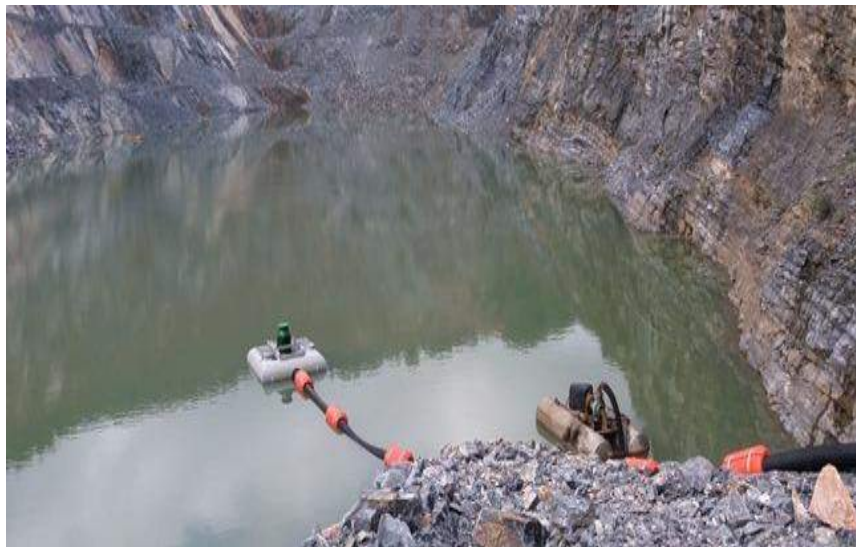


Figura 101 – Captação flutuante.



Figura 102 – Detalhe do Painel da EB.



Figura 103 – Sucção negativa de captação de água.



Figura 104 – Sucção negativa de captação de água em tanque revestido.



Figura 105 – Sucção flutuante em tanque revestido.



Figura 106 – Estação de bombeamento de um sistema de irrigação por gotejamento.



Figura 107 – Foto aérea em planta de uma estação de bombeamento.

5.2.4 Sistema de Tratamento e Armazenamento Águas

A qualidade da água para uso em irrigação é de suma importância para a vida útil do sistema de irrigação, que pode ser bastante reduzida por problemas de obstruções de emissores, oxidação prematura das peças de aço, dentre outros.

Os parâmetros físicos e químicos da água são variáveis, impactando diferentemente cada sistema de irrigação a ser utilizado, conforme descrito a seguir.

5.2.4.1 Qualidade de Água para Aspersão / Pivô

As tubulações em aço e os emissores metálicos podem sofrer oxidação precoce ou deposição de cálcio. Por outro lado, as tubulações e os emissores em material plástico não sofrem oxidação, mas podem sofrer com a deposição de cálcio. Essas ocorrências dependem dos teores de cálcio, bicarbonatos, condutividade elétrica, pH e temperatura.

A tendência com que a água irá oxidar os metais e depositar cálcio na tubulação é determinada pelo cálculo do índice de Langelier (LSI), conforme a Tabela 21. Este é um número que indica a capacidade da água dissolver ou depositar cálcio, sendo definido como a diferença entre o pH efetivo da água e o pH calculado. Valores

negativos mostram a tendência de oxidação de metais, tão mais intensa quanto mais negativo é o valor do índice. Quando os valores do Índice de Langelier são positivos há tendência de deposição de cálcio, da mesma forma, quanto mais positivos, maior será a deposição de cálcio. Este é o principal elemento a depositar, mas também ocorre a deposição de outros elementos, tais como o magnésio e ferro.

Tabela 21 – Índice de Langelier (LSI).

LSI	Problema
-2,0 a - 0,5	Problema sério de corrosão
-0,5 a 0	Problema leve de corrosão
0	Água balanceada, mas alguns pontos de oxidação podem ocorrer
0 a 0,5	Deposição leve de cálcio, com possibilidade de leve corrosão
0,5 a 2,0	Deposição de cálcio e sem corrosão

A análise granulométrica física dos componentes sólidos presentes na água indicará a necessidade de filtragem. Em geral o grau de filtragem é estimado em 1/6 a 1/10 do menor diâmetro de bocal do emissor de abertura da tela, ou seja, para um bocal de diâmetro de 2 mm é requerida uma filtragem em malha 0,20 mm a 0,33 mm ou equivalente em filtros de discos.

5.2.4.2 Qualidade para Gotejamento e Micro Aspersão

Todos os parâmetros relacionados na qualidade de água para irrigação por aspersão ou pivô devem ser observados para a irrigação localizada e como os emissores por onde a água sairá (gotejadores) são de diâmetros reduzidos, o cuidado deve ser ampliado.

Os autores BUCKS e NAKAYAMA (1986), elaboraram a Tabela 22 com os principais parâmetros de materiais sólidos e dissolvidos na água e os possíveis problemas encontrados.

O teor de sólidos em suspensão indica a necessidade de construção de tanque de decantação ou de sedimentação, pois a carga alta de partículas minerais pode sobrecarregar a filtragem. Em geral a filtragem recomendada é equivalente a malha mesh 120 ou 130 micrometros, ou seja, a fração fina da areia fina, todo o silte e toda a argila contida na água de irrigação passarão pela filtragem.

Tabela 22 – Riscos na Qualidade da Água para Irrigação (BUCKS e NAKAYAMA, 1986).

Tipo de problema	Risco		
	Baixo	Médio	Alto
Físico			
Sólidos em suspensão (ppm)	< 50	50 a 100	>100
Químico			
Ph	< 7,0	7,0 a 8,0	> 8,0
Sólidos dissolvidos (ppm)	< 500	500 a 2.000	> 2.000
Mn (ppm)	< 0,1	0,1 a 1,5	> 1,5
Ferro Total (ppm)	< 0,2	0,2 a 1,5	> 1,5
SH ₂ (ppm)	< 0,2	0,2 a 2,0	> 2,0
Biológico			
Bactérias (nº/cm ³)	< 10.000	10.000 a 50.000	> 50.000

Nas condições brasileiras a presença de ferro é marcante na água de irrigação, chegando a 14 ppm de ferro total. Conforme observado na Tabela 22, valores acima de 1,5 ppm de ferro apresentam alto risco para a obstrução de emissores. O manganês também pode apresentar problemas de obstrução, porém muitas vezes é negligenciado.

O ferro reduzido, na valência 2 - ferro ferroso - é totalmente solúvel em água, não causando nenhum problema de obstrução de emissores. Algumas ferrobactérias se alimentam deste ferro eliminando a forma férrica que é o ferro oxidado, insolúvel na água. Este ferro oxidado, junto com os materiais sólidos que passaram pela filtragem, formam agregados que poderão obstruir os emissores ou aumentar os custos de manutenção do sistema de irrigação. De forma correlata acontece com o manganês reduzido, passando a manganês oxidado, depositando dentro da malha hidráulica, agregando as partículas sólidas que passaram pela filtragem.

O sulfeto de hidrogênio, facilmente detectado pelo cheiro de ovo podre da água, que predomina em águas com materiais orgânicos em decomposição, é problema para a irrigação por gotejamento, pois as sulfobactérias decompõem este produto ao elemento enxofre, de forma insolúvel.

Para estes três casos: ferro, manganês e sulfeto de hidrogênio a aeração (exemplificada na Figura 108 e decantação corretamente utilizadas pode ser a melhor solução, reduzindo grandemente as obstruções e os gastos com manutenção, aumentando a longevidade do sistema de irrigação.

O tanque de decantação terá a função de sedimentar grande parte destes materiais que passarão pela filtragem e poderão depositar na malha hidráulica do sistema de irrigação. Portanto, a principal finalidade de um tanque de sedimentação corretamente construído, visa a redução dos custos de manutenção em limpezas físicas ou químicas. O tanque de sedimentação não é reservatório, pois tem nível constante, como ilustrado na Figura 109.

Em águas de superfície a filtragem em filtros de areia, com filtro de segurança é fortemente recomendada.

No caso de reaproveitamento de águas residuárias do setor sucroenergético, deve-se intensificar o tratamento tendo em vistas a qualidade deste efluente conforme medias apresentadas na Tabela 26.



Figura 108 – Aerador de bandeja (Foto: Leandro Lance).



Figura 109 – Tanque de decantação (Foto: Daniel Pedroso).

Tabela 23 - Exemplo da Evolução média das características físico-químicas das águas residuárias industriais enviadas para a lavoura de cana.

Parâmetros	Águas residuárias	
	CTC, 1995	CTC, 2008
Temperatura (°C)	40	-
pH	4,0	5,8
DBO ₅ (mg/L)	1.000-1.500	5050,5
DQO (mg/L)	2.000-3.000	10575,8
Sólidos Totais (mg/L)	8000	6056,7
Fósforo Total (mg/L P)	8,0	12,1
Nitrogênio Total (mg/L N)	20-40	70,1
Óleos e Graxas (mg/L)	9-10	não determinado
Potássio (mg/L K)	7-42	136,2

Fonte: (ELIA NETO & ZOTELLI 2008) apud ELIA NETO, A. et al. Manual de conservação e reuso de água na agroindústria sucroenergética (2009).

5.2.5 Armazenamento pulmão

Existem várias formas de armazenar água para irrigação, desde o armazenamento pulmão até as grandes represas para suprirem a falta de água natural, podendo reservar água por vários meses.

O armazenamento pulmão difere das represas de grande volume, pois visa apenas suprir o volume de algumas horas de irrigação. As finalidades para a construção deste armazenamento pulmão são várias e dentre elas citam-se:

- a) Necessidade de ter volume de captação após a decantação em tanques para esta finalidade;
- b) Recalque com desnível médio ou alto, ou grande comprimento de tubulação, que necessite alta classe de pressão da tubulação caso a pressurização seja direta;
- c) Quando é necessária a redução de potência de recalque, seja por limitação de transformador elétrico ou pela utilização de motobomba instalada em balsa, que necessita do menor peso possível;
- d) Em grandes áreas, nas quais serão necessárias várias pressurizações, com características diferentes para cada projeto de irrigação. Neste caso podem-se agrupar 3 ou 4 projetos captando água de um armazenamento pulmão.

Para evitar a perda de água por percolação ou infiltração, o ideal é que este armazenamento pulmão seja impermeabilizado. A impermeabilização mais comum é com geomembrana, podendo esta ser em PVC, PEAD ou PELBD, existindo materiais texturizados que tem maior resistência mecânica. As espessuras da geomembrana podem variar de 0,3 mm a 1 mm a ser definida principalmente pela resistência mecânica necessária nas condições do terreno a instalar. A forma de aquisição da geomembrana pode ser em bobinas, fazendo-se a solda da geomembrana no próprio local ou pode ser fornecida já performada de acordo com a escavação do terreno. Esta última forma é mais rápida, requerendo mão de obra menos qualificada, mas é limitada pelo tamanho do reservatório.

A construção pode ser escavada, utilizando a terra removida para elevar a borda, devendo-se fazer a correta compactação desta terra. Durante a colocação da geomembrana é recomendável a colocação de um dreno inferior, sempre que a topografia local permita, para facilitar a limpeza. Nesta fase também já deve estar definida a forma de captação pela motobomba: afogada ou não. No caso de afogada, a passagem da tubulação de sucção deve ser instalada passando pela geomembrana. Em ambos os casos a válvula de pé não deve estar próxima ao fundo, evitando desta forma a sucção de partículas depositadas.

No cálculo de volume deste armazenamento deve ser considerado o volume morto quando ele existir, ou seja, aquele volume que tem água, mas que não poderá ser aproveitada. O volume morto é calculado levando em conta a altura de sucção, determinada desde o nível mínimo do reservatório até a parte superior do crivo de sucção, somando 2,5 vezes o diâmetro de sucção para evitar a formação de vórtex e entrada de ar na sucção. Deve também ser acrescentado na altura do reservatório mais 0,30 m para prevenir transbordamento devido a vento.

Outro ponto muito importante na construção dos reservatórios é a instalação de um dreno ladrão para evitar transbordamento do excesso da água. Na Figura 110 apresenta-se um tanque de armazenamento impermeabilizado.



Figura 110 – Armazenamento impermeabilizado com geomembrana e cerca para segurança e proteção (Foto: Carlos Barth).

Como citado anteriormente, a filtragem em areia é fortemente recomendada em casos que se utiliza água de superfície. Um ponto negativo deste tipo de filtragem é a quantidade de água utilizada para a retro lavagem do conjunto. Este ponto negativo pode ser minimizado utilizando um tanque de decantação

específico, construído de acordo com dimensões adequadas para promover a sedimentação das partículas presentes na água de retro lavagem que deve ter a construção semelhante ao tanque de decantação principal e tempo de permanência da água de no mínimo de 10 horas. Ao final desta decantação a água pode ser transferida para o tanque de decantação principal ou diretamente ao tanque pulmão para seu uso na irrigação.

5.2.6 Sistema de Adução

Os principais tópicos que devem ser estudados, para alcançar um bom e eficiente projeto de adução envolvem as premissas técnicas; mapa planialtimétrico; tubulações; normas; padrões; documentos gerais aplicáveis; engenharia; procedimentos para instalação de adutoras; comissionamento da tubulação; e projeto como construído (As Built). O estudo detalhado de todos esses tópicos tem o objetivo de reunir as informações mais importantes e necessárias para o início do desenvolvimento da engenharia até o começo da operação da adutora, passando por todos os aspectos construtivos. Na Figura 111 se ilustra um sistema adutor por gravidade.

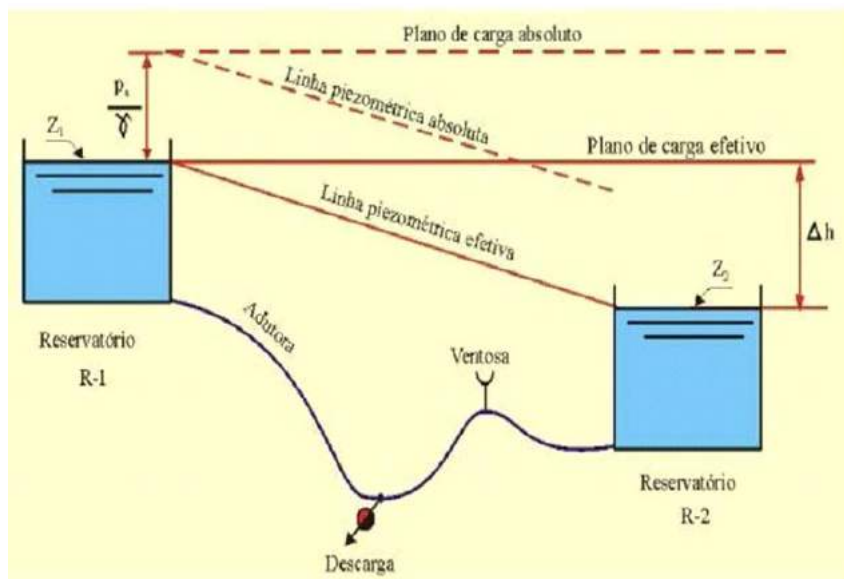


Figura 111 – Esquema de uma Adutora por Gravidade.

5.2.6.1 Premissas Técnicas

A concepção de um projeto de adutora, normalmente, é definida com base nas seguintes premissas: vazão a ser conduzida, condições topográficas do terreno e características físicas e químicas do líquido a ser bombeado.

5.2.6.2 Dados Topográficos

As informações topográficas básicas necessárias para a elaboração de estudo, projeto e engenharia de um sistema de transporte de líquidos via adutora, são obtidas com a execução de levantamentos detalhados da área e perfil do traçado onde se pretende construir a adutora, e dos locais das obras de arte que a compõem., conforme exemplificado na Figura 112.

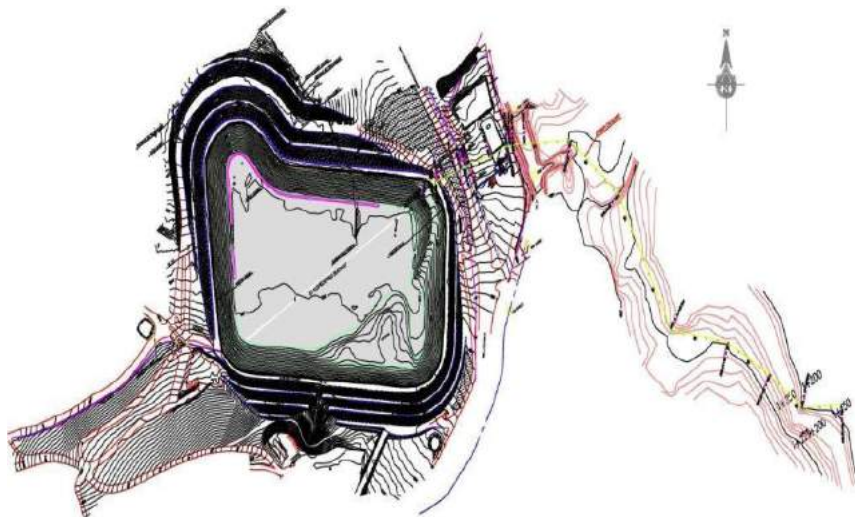


Figura 112 – Planta do Caminhamento da Adutora.

5.2.7 Tubulações

As diversas opções de tubos; material construtivo, resistência física e química, forma de conexão, vantagens e desvantagens de cada tipo e custo, devem ser analisadas na elaboração do projeto a fim definir a melhor opção técnico-econômica. Nas Figura 113 até Figura 116 se ilustram vários aspectos da instalação de tubulações em adutoras.

5.2.7.1 Normas, Padrões e Documentos Gerais Aplicáveis

Na elaboração dos estudos conceitual e engenharia para projetos de irrigação, deverão ser consultadas e consideradas as normas técnicas aplicadas. As normas deverão ser utilizadas em sua última versão e edição, válida.

5.2.7.2 Engenharia

Nesta etapa devem ser consideradas todas as premissas apresentadas anteriormente:

- a) Caracterização dos Líquidos a serem transportado;
- b) As características das tubulações que podem ser utilizadas;
- c) Dados Topográficos;
- d) Normas Técnicas de projeto e de aplicação.

A partir dessas considerações, é possível partir para as etapas de:

- e) Dimensionamento hidráulico;
- f) Sistemas de controle e proteção hidráulica;
- g) Especificações da tubulação e conexões;
- h) Detalhamento da Estação de Bombeamento.

5.2.7.3 Procedimentos para Instalação de Adutoras

Os procedimentos para instalação de adutoras devem oferecer ao usuário condições de realizar de forma segura e eficiente a implementação de sistemas de adutoras. Seguem alguns tópicos introdutórios que facilitarão a instalação e o gerenciamento do projeto:

- a) Identificação de todas as partes envolvidas (stakeholders) pela adutora que será construída;
- b) O escopo do projeto, licenças e autorizações;
- c) As premissas necessárias para essa construção e que nortearam todo o desenvolvimento da Engenharia.

Uma vez identificadas as partes envolvidas (stakeholders), as necessidades de licenças e autorizações, e a Engenharia definida com premissas válidas, dever-se-á iniciar o planejamento de tempo e aquisições, prever as métricas de aceitação e o controle da qualidade, propriamente dito, a fim de obter o Plano de Construção.

5.2.7.4 Comissionamento da Tubulação

As atividades de inspeção, testes e comissionamento devem ser planejadas já durante a fase de engenharia. Esse planejamento é fundamental, pois é durante essa etapa que são especificados os equipamentos assim como o seu modo de funcionamento. Na engenharia também devem ser identificados os equipamentos críticos para o sistema e que vão merecer mais atenção com relação a testes, inspeções. Também é durante a engenharia que devem ser previstos dispositivos para que os testes e comissionamentos possam ser realizados.

Após a conclusão da construção, o comissionamento geralmente ocorre em duas fases. O comissionamento é realizado pela combinação de testes estáticos (geralmente referidos como pré-comissionamento) e dinâmicos, testando com a intenção de demonstrar que os equipamentos e sistemas atendem ao projeto.



Figura 113 – Tubulação de PRFV + PVC (Foto: IrrigaEngenharia).



Figura 114 – Detalhes do projeto de adutora.



Figura 115 – Instalação de adutora no campo.



Figura 116 – Simulador de funcionamento de adutora.

5.2.7.8 Projeto como Construído “As Built”

O Projeto “Como Construído” ou “As Built” é o conjunto de informações elaboradas na fase de supervisão e fiscalização das obras com o objetivo de registrar as condições físicas e econômicas da execução da obra, fornecendo elementos considerados relevantes para subsidiarem futuras intervenções na obra, como: reformas, ampliação e restauração (Figura 117)

Projeto “Como Construído” deve apresentar fielmente o objeto construído, com registros das alterações realizadas durante a execução como especificado no Guia para Boas Práticas de Adutoras de Vinhaça e Águas (GUAZZELLI *et al.*, 2018).

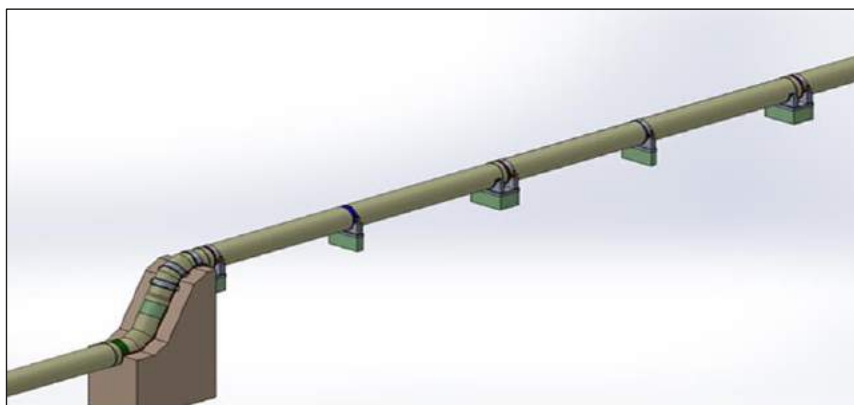


Figura 117 – Desenho da instalação conforme realizada em campo.

CAPÍTULO 6 – AMBIENTAL

A agricultura de um modo geral provoca diversos impactos ao meio ambiente devido a intensiva utilização dos recursos naturais, dentre esses o próprio solo e a água. O desmatamento, o desenvolvimento de processos erosivos, o assoreamento de rios e reservatórios e o uso excessivo de fertilizantes e agroquímicos, são exemplos dos efeitos nocivos que devem ser combatidos com uma boa gestão ambiental ligada aos projetos agrícolas e dentre estes os de irrigação. A irrigação contribui para o aumento da produção agrícola e deve ser objeto de uma adequada implantação para mitigar os impactos ambientais, envolvendo todos os agentes e técnicas para um manejo sustentável também sob o ponto de vista ambiental.

Os impactos provocados pelo setor sucroenergético no meio físico aquático, ou mais especificamente no suprimento de água, são de naturezas quantitativa e qualitativa, podendo vir a comprometer os recursos hídricos pelo seu uso intensivo ou ainda, pelo alto potencial de poluição das atividades agroindustriais e de uso do solo, dentre estas a irrigação dos canaviais.

Há uma ideia generalizada, entre as entidades ligadas aos recursos hídricos e ambientais, de que a agroindústria sucroalcooleira é uma grande consumidora de água, em face dos valores históricos de captação de água para o processo industrial de fabricação de açúcar e etanol praticado pelo setor. Atualmente isto não mais se justifica, uma vez que os índices de captação de água diminuíram substancialmente nas últimas décadas, fazendo com que o setor tenha um índice de reuso de água para o processo industrial de cerca de 95%, atingindo valores médios de 1 m³ de água captada por tonelada de cana processada, e até menos em alguns casos, substancialmente às custas de investimentos no reúso de água com o tratamento e fechamento dos circuitos de água industrial. Ao final é gerada uma pequena parcela de águas residuárias, que são normalmente reutilizadas na lavoura juntamente com a vinhaça para promover a fertirrigação de parte dos canaviais.

Em relação à produção de cana, visto que diferentemente da maioria dos países produtores, o Brasil e principalmente a região canavieira Centro-Sul, onde se concentra cerca de 90% da produção de cana no Brasil, pouco utiliza água para a irrigação na grande parte das áreas cultivadas com cana-de-açúcar. Naturalmente isto

se deve às condições climáticas favoráveis, estando a irrigação mais voltada ao reuso das águas residuárias como irrigação de salvamento da cana soca.

Já na região Nordeste, área mais tradicional de irrigação canavieira, e mesmo nas áreas de expansão da região canavieira Centro-Sul onde o déficit hídrico é mais acentuado, a irrigação propriamente dita com captação de água vem sendo adotada com bastante sucesso na obtenção de maiores produtividades mediante as novas tecnologias disponíveis.

Pode-se generalizar que a irrigação representa um maior uso do recurso natural água, mas em contrapartida, um menor uso do recurso natural solo, uma vez que se obtêm maiores produtividades com esta prática.

A gestão ambiental eficaz das águas, não representa tão somente a necessidade de conformidade legal da atividade agroindustrial, mas também, a demonstração da responsabilidade social do setor produtivo. Além disso, o setor sucroenergético tem importante atuação no mercado internacional e um número crescente de países vem exigindo certificação ambiental de produtos, processos de produção e serviços. É importante atentar para o fato de que a competitividade comercial exigirá, de forma cada vez mais presente, a reavaliação dos processos produtivos e a adoção de práticas de produção cada vez mais limpas que otimize os usos dos recursos naturais, dentre estes a água, um bem essencial à vida.

6. 1 Panorama dos Recursos Hídricos

A água é fundamental para a vida, tendo a ciência demonstrado que a vida se originou nela, e que é parte constituinte de todos os seres vivos (cerca de 70 % do peso). A importância da água no desenvolvimento das atividades humanas, não é só relacionada à sobrevivência, mas também às atividades produtivas, induzindo desde os primórdios ao uso múltiplo das águas, que devem ser assegurados pela gestão eficaz dos recursos hídricos. Estes múltiplos usos podem ser agrupados como consuntivo (quando a água utilizada não retorna imediatamente aos recursos hídricos locais, como abastecimento urbano, irrigação e abastecimento industrial), e não consuntivo, quando não existe consumo de água na atividade, como produção de energia elétrica, lazer, piscicultura navegação e usos ecológicos.

6.1.1 Recursos Hídricos no Mundo

A água é um recurso finito, como a maioria dos recursos minerais do nosso planeta e isto significa que há uma quantidade fixa de água, que é mensurada por alguns pesquisadores em 1,42 bilhões km³. Há um trabalho de revisão desta mensuração que indica o valor de 1,39 bilhão de km³ (SPERLING, 2006). A maior parte desta (mais de 97 %) se constitui de água salgada e, o restante de água doce, porém na sua grande maioria, indisponível nas geleiras e profundezas do solo, restando relativamente muito pouco de água doce facilmente utilizável, estimada em apenas 0,003% (ABRH, 2007).

Pelo fato de a água potável ser um recurso finito e com reservas limitadas se repartindo desigualmente pela superfície terrestre, os especialistas têm alertado que, se o consumo continuar crescendo como nas últimas décadas, as águas superficiais do planeta estarão comprometidas por volta de 2100 (estresse hídrico). O agente renovador e distribuidor de água doce da natureza, o ciclo hidrológico, vem sofrendo com as mudanças climáticas globais, contribuindo para agravar as expectativas. O estresse hídrico ou carência de água é a combinação de efeitos naturais, demográficos, socioeconômicos e até culturais, ou seja, chuvas escassas; alto crescimento demográfico; desperdício; e poluição de mananciais.

De acordo com a agência da ONU, em declaração para o Dia Mundial da Água de 2019, com a mudança climática e o crescimento populacional pressionando cada vez mais os recursos hídricos finitos, a FAO incentiva os países a intensificar esforços para aumentar a eficiência hídrica e fornecer acesso a água potável para todos. Garantir a segurança hídrica global é fundamental para alcançar o Fome Zero e os ODS, Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (FAO, 2019). Conforme declaração da vice-diretora geral de Clima e Recursos Naturais da FAO, Maria Helena Semedo, “A água é universal, cruza fronteiras e alimenta toda a vida - a água é um direito humano”.

Os Impactos adversos da mudança climática se refletem na segurança alimentar e hídrica, com o agravamento de episódios críticos, principalmente em relação a seca. As áreas secas se tornarão mais secas, afetando mais a agricultura com perdas de safra e redução da produção, conforme a FAO (2019), apontando para a necessidade de encontrar fontes inovadoras de água, incluindo reciclagem de esgoto e coleta de água da chuva, e aumentar a eficiência da água, especialmente nos setores agrícolas.

Conforme a FAO (2019), a agricultura responde por 69 % das captações de água, observando-se que cerca de 80% das terras cultiváveis do mundo recebem chuvas, produzindo 60% dos alimentos. Os 40% restantes são produzidos em cerca de 20% de áreas irrigadas, demonstrando a necessidade desta técnica para a segurança alimentar, em face da maior produtividade da irrigação em relação a área de sequeiro (em média 2,5 vezes maior).

A população da Terra em 2022 chegou a 8 bilhões de habitantes, cuja metade aproximadamente está concentrada em apenas cinco países: China, Índia, EUA, Indonésia e Brasil. As Nações Unidas estimam que a população humana chegará até 11,2 bilhões em 2100. A captação anual de água no mundo é em torno de 4,8 km³, conforme se apresenta no gráfico da Figura 118, observando-se um crescimento de 600% na captação da água deste 1960 (OTTO, B. & SCHKEUFER, L., 2020), com a irrigação aumentando mais proporcionalmente os demais setores.

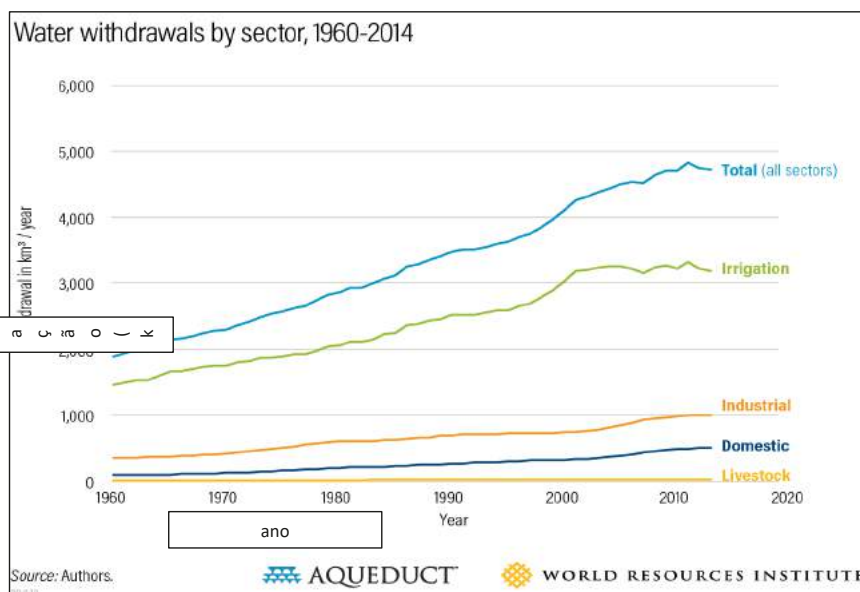


Figura 118 – Evolução da água captada no planeta por setor (Fonte: Aqueeduct/WRI, in: OTTO, B. & SCHKEUFER, L., 2020).

Considerando as atividades humanas, a distribuição relativa dos usos de água, se dá em sua maior parte na agricultura (70%), em seguida na indústria (20%)

e o restante doméstico (10%), conforme ilustrado na Figura 119. O uso mais intenso de água na agricultura se dá principalmente nos países do terceiro mundo, enquanto que na Europa e América do Norte (em suma nos países desenvolvidos) o maior consumo se dá na indústria.

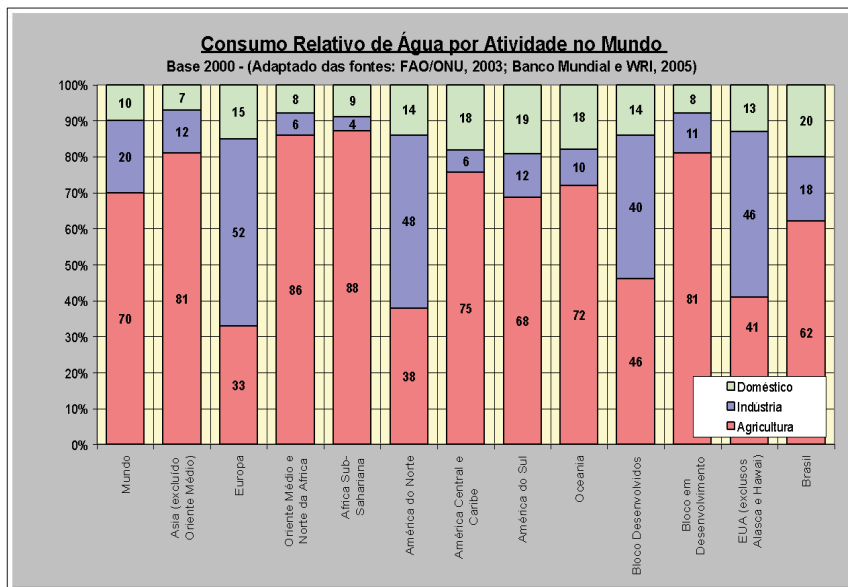


Figura 119 – Distribuição do uso de água no mundo por atividade (WRI, 2005/FAO 2003, apud ELIA NETO *et al.*, 2009).

Desta forma se antevê o quão é significativa a demanda de água para a irrigação, sendo que nem de longe se atingiu o potencial requerido para a produção de alimentos para as próximas décadas, o que certamente ensejará conflitos pela disputa da água, caso não se tenha uma gestão adequada dos recursos e o impulsionamento das tecnologias de racionalização do uso de água, principalmente na agricultura.

6.1.2 Recursos Hídricos no Brasil

O Brasil, localizado em sua maior parte na Zona Intertropical, com domínio de climas quentes e úmidos, recebe chuva em cerca de 90% do seu território, normalmente variando de 1.000 a 3.000 milímetros anuais. A única grande área que foge a este padrão é o Sertão Nordestino, região que ocupa cerca de 10% do território

nacional. Devido a estas características climáticas e às condições geomorfológicas dominantes, o Brasil possui importantes excedentes hídricos cujo resultado é a existência de uma das mais vastas e densas redes de drenagem fluvial do mundo. Como consequência, nossa produção hídrica equivale a pouco mais que metade do total da América do Sul. Embora não haja um consenso sobre o assunto, estima-se que nosso país detenha algo entre 12% e 15% dos recursos hídricos totais do mundo (OLIC, 2003, apud ELIA NETO, 2009) .

Segundo dados da FAO/AQUASTAT (2020) a disponibilidade hídrica no Brasil é de 8.647 km³/ano (base 2017), que comparada com a disponibilidade hídrica renovável mundial estimada em cerca de 55.000 km³/ano, resulta em uma disponibilidade relativa de aproximadamente 15% destes recursos no mundo.

Como visto, o Brasil possui abundância de águas superficiais, porém esses recursos hídricos não estão distribuídos equitativamente pelo território. Quatro grandes bacias hidrográficas são responsáveis por 85% de nossa produção hídrica: Amazônica; Tocantins-Araguaia; São Francisco; e Paraná. A Figura 120 apresenta esquematicamente as quantidades relativas de disponibilidade de água no Brasil, bem como a distribuição relativa populacional e territorial.

Nas áreas das bacias Amazônica e do Tocantins-Araguaia, a produção hídrica corresponde a 73% do total do país. Nessas áreas, de forma geral, as densidades demográficas são muito baixas variando de 2 a 5 habitante/km². No outro extremo, na bacia do Paraná, com apenas 6,5 % da produção hídrica, as densidades demográficas dominantes estão entre 25 e 100 habitante/km², cerca de 20 vezes mais que a região Norte. A bacia do Paraná conta com as maiores metrópoles do país, com as áreas mais dinâmicas da economia brasileira, sendo os mananciais mais exigidos e poluídos do país.

A população brasileira foi estimada em cerca de 213 milhões de habitantes segundo o IBGE, em meados de 2022. Assim, a disponibilidade per capita no Brasil resulta em aproximadamente 41.000 m³/habitante ano. Considerando a demanda pelo uso da água no Brasil em 65,68 km³/ano (base 2017, conforme FAO/AQUASTAT, 2010), a demanda per capita resulta em aproximadamente 310 m³/habitante ano, demonstrando que a situação brasileira é bastante privilegiada em termos de recursos hídricos, com uma demanda menor que 1% em relação a sua disponibilidade.

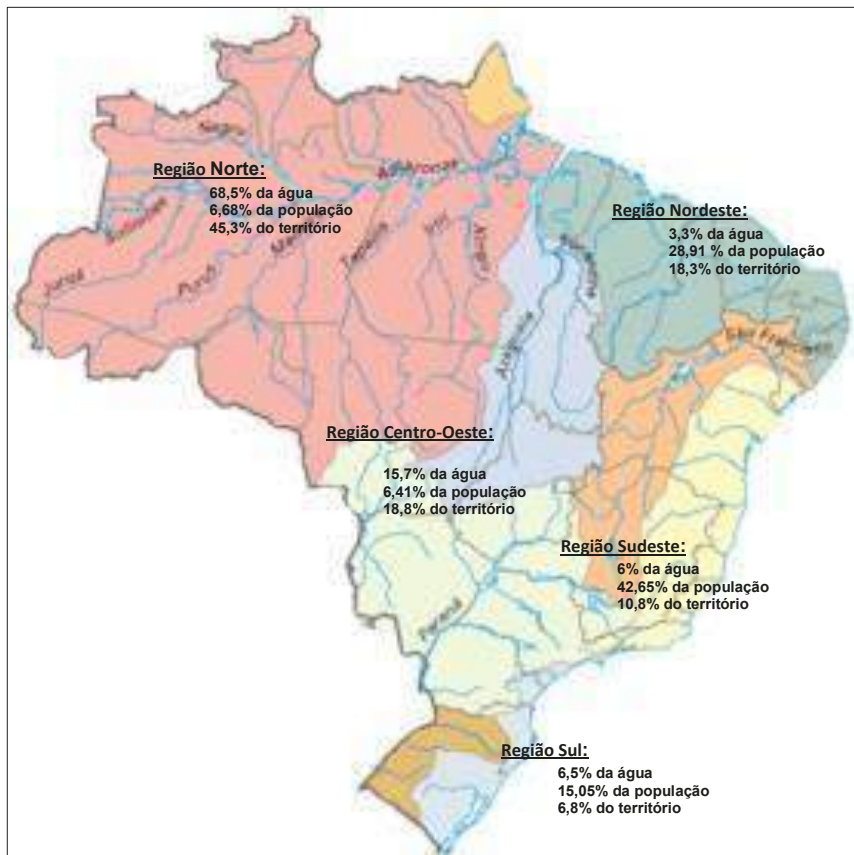


Figura 120 – Distribuição relativa dos recursos hídricos, da população e do território brasileiro (adaptado de dados do DNAEE, 1992 citado por UNIAGUA, 2007, apud ELIA NETO *et al.*, 2009)).

Esta aparente abundância de água no Brasil tem sustentado uma cultura de desperdícios. Os problemas de abastecimento na atualidade ainda estão restritos a poucas áreas e decorrem da combinação de vários fatores, entre eles: da irregularidade das condições climáticas (Sertão do Nordeste); do crescimento exagerado do consumo; e da degradação ambiental.

O “estresse hídrico” é definido como o limite em que a disponibilidade hídrica se encontra perigosamente próxima aos valores baixos de demanda, segundo a ONU, quando inferior a 1.000 m³ anuais por habitante, ou segundo o Banco Mundial quando a disponibilidade for inferior a 2.000 m³ anuais por habitante. Nenhuma

unidade federativa do Brasil apresenta índices inferiores a 1.000 m³ anuais por habitante, porém os estados do Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e o Distrito Federal, apresentam índices menores que 2.000 m³ anuais por habitantes, portanto com “stress” hídrico segundo o entendimento do Banco Mundial.

Mesmo na Região Sudeste, o “estresse hídrico” não está afastado, haja vista o ocorrido recentemente em 2014, em que praticamente foi esgotada as reservas de água para consumo humano em regiões como a metrópole de São Paulo devido à estiagem, com reflexos no setor agrícola e industrial pela falta de água e insegurança hídrica para fazer frente à produção agrícola e industrial.

Aos Comitês de Bacias Hidrográficas e as Agências Reguladoras da Água, com seus instrumentos de gestão participativa dos recursos hídricos, como outorga, cobrança pelo uso da água, planos de bacias, dentre outros, cabem a missão de zelar pela qualidade e quantidade de água e a disponibilização dos recursos hídricos para o uso múltiplo das águas.

A necessidade do crescimento da irrigação no país, para fazer frente a crescente demanda por alimentos e culturas energéticas, certamente exigirá dos órgãos gestores, um maior empenho no sentido de se considerar este uso agrícola como também prioritário, igualmente aos uso para abastecimento urbano e dessedentação de animais, procurando simplificar as questões envolvidas com licenciamentos ambientais, utilização da água de chuva com pequenas barragens, maior desburocratização da outorga, dentre outras necessidades para o fomento da irrigação no Brasil.

6. 2 Impactos ambientais da irrigação.

A irrigação é uma atividade antrópica que interfere no ambiente, quer seja, a montante com as barragens, canais e linhas de transmissão, como também a jusante pela quantidade de água demandada e qualidade da água eventualmente liberada afetando os demais usuários e o meio ambiente de uma forma geral. Além disto, pode ocorrer impactos no perímetro irrigado com o uso intensivo de agroquímicos e processos de escoamento superficial, redundando em erosão e a lixiviação de contaminantes para a água subterrânea, conforme a qualidade da água utilizada.

Quando se discorre sobre impactos ambientais, normalmente se citam os negativos, esquecendo-se de se mensurar ou mesmo mencionar os impactos positivos, que no caso da irrigação é de suma importância para uma análise de sustentabilidade da atividade. Nesta linha, o impacto mais evidente da irrigação é a menor pressão no uso do solo, uma vez que a produtividade resultante é substancialmente maior, em relação ao plantio de sequeiro. Com isso, tem-se maior segurança alimentar e incremento das atividades sócio econômicas com criação de emprego e fixação do homem no campo.

Em contrapartida, pode-se dizer que o mais relevante impacto negativo da irrigação é a demanda de água, podendo trazer conflitos no uso dos recursos hídricos com os demais usuários pela atividade. Assim, deve-se procurar viabilizar a irrigação levando-se em conta estes fatores maximizando os impactos positivos e minimizando ou até mesmo eliminando os impactos negativos. Duas linhas devem ser buscadas: inovação tecnológica e racionalização no uso da água.

Quanto aos impactos ambientais da área irrigada, SALASSIER BERNARDO (1992) coloca que “ao manejar, de forma racional, projetos de irrigação, devem ser considerados os aspectos sociais e ecológicos da região e procurar maximizar a produtividade e a eficiência de uso de água e minimizar os custos, quer de mão-de-obra, quer de capital, de forma a tornar lucrativa a utilização da irrigação mantendo as condições de umidade do solo e fitossanidade favoráveis ao bom desenvolvimento da cultura irrigada. Bem como melhorar ou, no mínimo, manter as condições físicas, químicas e biológicas do solo, o que, sem dúvida, influenciará muito a vida útil do projeto”. Esse mesmo autor considera que são seis os principais impactos negativos a ser considerado nos projetos de irrigação: modificação do meio ambiente: salinização do solo; contaminação dos recursos hídricos; consumo exagerado da disponibilidade hídrica da região; consumo elevado de energia; e problemas de saúde pública.

Conforme SCHMIDT (2007), a agricultura irrigada, como toda atividade antrópica, interfere no ambiente de diferentes modos: (i) a montante com as barragens, canais e linhas de transmissão; (ii) a jusante pela quantidade e qualidade da água liberada que afeta a todos os usuários, do ser humano à flora e fauna; e (iii) no perímetro irrigado com o uso intensivo de agroquímicos, e processos de escoamento superficial e erosão.

Naturalmente os impactos ambientais estão relacionados com o porte do projeto de irrigação, o tipo de tecnologia empregada e as condições de disponibilidade de recursos hídricos, se superficial ou subterrâneo e no caso de superficial se as captações de água são a fio d'água ou de reservatórios. No caso do setor canavieiro pouco se aplica a irrigação por inundação, o que diminui substancialmente os aspectos negativos de mudança do ambiente e da qualidade da água a jusante.

6.2.1 Impactos a montante

Os impactos a montante dizem respeito à qualidade da água, quantidade de água, fauna e flora. São os impactos de uma barragem, por exemplo.

Modificação do meio ambiente (Físico e Biológico)

Trata-se substancialmente dos impactos decorrentes da implantação de infraestrutura para o irrigação relativas ao suprimento de água e de energia., ou seja necessidade de reservatórios de águas, canais sistema de bombeamento, linhas de transmissão de energia, e outras construções correlatas que podem interferir diretamente no meio físico, biológico e antrópico, como remoção de vegetação, interferência em áreas de preservação permanente, alteração de regime fluvial de lânticos para lótico, rebaixamento do lençol freático quando captação de água subterrânea e outros aspectos indiretos na população local.

Se por um lado a construção de reservatório de água traz impactos desta natureza, perfeitamente mitigáveis com ações corretivas como revegetação em torno do reservatório, traz como aspecto positivo a possibilidade de se aumentar a oferta hídrica local com o armazenamento da água da chuva e em certos casos até perenizar pequenos córregos, propiciando o uso múltiplos das águas como criação de peixes por exemplo ou mesmo paisagístico e recreativo.

6.2.2 Impactos a jusante - qualidade da água devolvida a bacia.

Contaminação dos recursos hídricos (rios e águas subterrâneas)

Um impacto indireto da irrigação é a contaminação de rios e córregos e da água subterrânea devido ao eventual excesso de lâmina de água aplicada, que não é evapotranspirada pela cultura, podendo retornar aos rios e córregos por meio do escoamento tanto superficial quanto subsuperficial ou então para as águas subterrâneas, por percolação, podendo arrastar sais solúveis,

fertilizantes (N, P e K), resíduos de defensivos e herbicidas, elementos tóxicos, e sedimentos.

Como consequência se desencadeiam impactos secundários de contaminação dos recursos hídricos quanto a potabilidade e dessedentação dos animais, além dos aspectos ligados a seres biológicos aquáticos.

A magnitude deste impacto está relacionada as perdas por percolação e por escoamento superficial na irrigação, que quanto maiores, maiores serão as chances de contaminação dos recursos hídricos. Assim, uma medida mitigadora eficiente é um bom manejo da irrigação com lâminas adequadas visando suplementar o déficit hídrico.

6.2.3 Impactos na área irrigada

Os impactos na área irrigada dizem respeito ao solo, escoamento superficial, salinização e lixiviação de produtos químicos.

6.2.3.1 Salinização do solo.

A salinização do solo é o processo de excessivo acúmulo de sais minerais, cuja concentração é provocada pela evapotranspiração intensa, principalmente em locais de climas tropicais áridos ou semiáridos, onde normalmente existe drenagem ineficiente. Geralmente os sais são provenientes das águas pluviais, oceânicas ou aquelas utilizadas pela irrigação na agricultura, fenômeno que vem se acentuando em várias partes do mundo, podendo resultar em infertilidade dos solos e até de desertificação.

A salinidade ocorre com mais frequência nas regiões áridas e semiáridas, como é o caso do Nordeste brasileiro, pois a percolação e a consequente lixiviação e transporte de sais solúveis ficam restringidas devido às baixas precipitações e às altas taxas de evaporação, sendo esse processo acelerado pelas irrigações sem controle e pela drenagem muito deficiente.

Conforme BERNARDO (1992), a salinização do solo afeta a germinação, a densidade e o desenvolvimento vegetativo das culturas, reduzindo suas produtividades e, nos casos mais intensos, levam as plantas à morte. A principal consequência do aumento da concentração total de sais solúveis de um solo é a redução do seu potencial osmótico, o que prejudica as plantas, em razão do decréscimo da disponibilidade de água daquele solo (BERNARDO *et al.*, 2006).

Os efeitos imediatos da salinidade sobre os vegetais são: seca fisiológica, proveniente da diminuição do potencial osmótico, desbalanceamento nutricional devido à elevada concentração iônica, especialmente o sódio, inibindo a absorção de outros nutrientes e efeito tóxico de íons, particularmente o cloro e sódio (SILVA *et al.*, 2011).

Em relação a irrigação, este fenômeno está diretamente relacionado à qualidade da água em termos de teores de sais, tanto da água superficial como da subterrânea, observando-se que nesta última os teores de sais são bem maiores.

Na Resolução CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005, em seu artigo 2°, são adotadas as seguintes classificações de águas conforme a faixa de salinidade: I - águas doces: águas com salinidade igual ou inferior a 0,5 ‰; II - águas salobras: águas com salinidade superior a 0,5 ‰ e inferior a 30 ‰; e III - águas salinas: águas com salinidade igual ou superior a 30 ‰. Preferencialmente a água doce é indicada para a irrigação, podendo, no entanto, ter um teor de salinidade limitante um pouco maior (cerca de 1‰). Mesmo se utilizando um teor de 0,5 ppm, uma lâmina de 100 mm agrega ao solo 500 kg de sais por ano. Num período de 50 anos serão 25 t de sais por hectare.

Além da qualidade da água, outra ação mitigadora preventiva da salinização em áreas irrigadas, é o controle da salinidade pela lixiviação e drenagem natural ou artificial do solo agrícola, garantindo que o fluxo de água com sal abaixo da zona radicular das culturas não eleve o lençol freático acima de certos limites. Recomenda-se até lâminas maiores que a necessidade da planta para que sobre uma parcela de água para percolação e lixiviação dos sais para longe do alcance das plantas, mito embora alguns autores considerem que a própria ineficiência de algumas tecnologias de irrigação já provém esta lâmina extra.

Trabalhos pioneiros sobre a salinização mostram a importância da qualidade da água e sua composição quanto à concentração iônica e ao total de sais. Na Tabela 24 se apresenta uma avaliação qualitativa, dividindo as águas em quatro classes de salinidade à medida que aumenta a concentração de sais e, consequentemente, sua condutividade elétrica, conforme proposto por RICHARDS (1954, *apud* SILVA *et al.*, 2011).

Tabela 24 - Classificação das Águas para Irrigação quanto ao Teor de Sais.

Classe	CE, Condutividade Elétrica [$\mu\text{S.cm}^{-1}$]	Interpretação
C1	0 – 250	Água de baixa salinidade. Pode ser usada para irrigação da maioria das culturas, em quase todos os tipos de solos, com muita pouca probabilidade de que se desenvolvam problemas de salinidade. Se necessária alguma lixiviação de sais, esta é conseguida em condições normais de irrigação, exceto em solos de muito baixa permeabilidade.
C2	250 – 750	Água de média salinidade. Pode ser usada sempre e quando houver uma lixiviação moderada de sais. Em quase todos os casos se adequa ao cultivo de plantas moderadamente tolerante aos sais, sem necessidade de práticas especiais de controle de salinidade.
C3	750 – 2250	Água de alta salinidade. Pode ser usada em solos com drenagem deficiente. Mesmo com drenagem adequada pode ser necessário práticas especiais de controlada salinidade, devendo, portanto, ser utilizada na irrigação de espécies vegetais de alta tolerância aos sais. Os riscos apresentados por esta classe de água podem ser amenizados quando do emprego do método de irrigação localizada mantendo o solo continuamente úmido.
C4	2250 - 5000	Água de muito alta salinidade. Não é apropriada para irrigação sob condições normais, porém pode ser usada ocasionalmente, em circunstâncias especiais. Os solos devem ser permeáveis, a drenagem adequada, devendo ser aplicada água em excesso para se obter uma boa lixiviação dos sais e, mesmo assim devem ser explorados com culturas altamente tolerantes aos sais.

Fonte: RICHARDS, 1956, *apud* SILVA *et al.*, 2011.

6.2.3.2 Infiltração da água

A qualidade das águas de irrigação com respeito à RAS (Razão de Absorção de Sódio) se baseia essencialmente no efeito do sódio nas condições físicas do solo, causando problemas de infiltração pela redução da permeabilidade, ou seja: facilidade com que a água entra e se desloca nos primeiros centímetros do solo. Um problema de infiltração torna-se evidente quando a água de irrigação não atravessa a superfície do solo à velocidade suficientemente rápida para permitir a renovação da água consumida pela cultura entre duas irrigações. Os fatores da qualidade e água que podem influir na infiltração, são os teores totais de sais (salinidade) e o teor de sódio em relação aos teores de cálcio e magnésio. Alta salinidade aumenta a velocidade de infiltração, enquanto baixa salinidade, ou proporção alta de sódio em

relação ao cálcio, a diminuição, ambos os fatores (salinidade e proporção de sódio) podem atuar simultaneamente (AYERS e WESTCOT, 1999; BERNARDO *et al.*, 2006; MANTOVANI *et al.*, 2006).

Quando a redução da infiltração se deve à qualidade da água aplicada, o problema ocorre, em geral, nos primeiros centímetros do solo, ainda que, ocasionalmente, poderá ocorrer a maiores profundidades. O efeito final é similar ao da salinidade, isto é, redução no suprimento de água às culturas, porém por razões diferentes. Enquanto o problema de infiltração reduz a quantidade de água que penetra a zona radicular, a salinidade reduz a disponibilidade de água que já se encontra armazenada nela. A capacidade de infiltração de um solo cresce com o aumento de sua salinidade e decresce com o aumento da razão de adsorção de sódio (RAS) e, ou, com o decréscimo de sua salinidade. Assim, os dois parâmetros, RAS e salinidade, devem ser analisados conjuntamente para se poder avaliar corretamente os efeitos da água de irrigação na redução da capacidade de infiltração de um solo (BERNARDO *et al.*, 2006; LOGAN, 1965).

RICHARDS (1954, *apud* SILVA *et al.*, 2011)) dividiu as águas em quatro classes tomando como base valores limites de RAS em função da Condutividade Elétrica (CE) com as interpretações da Tabela 25.

Tabela 25 - Classificação das Águas para Irrigação quanto ao Risco de Sodicidade.

Classe	Faixa de RAS	Interpretação
S1	$RAS < 18,87 - 4,44\log CE$	Água de baixa sodicidade ou com baixa concentração de sódio. Pode ser usada para irrigação na maioria dos solos, com pouca probabilidade de se atingir níveis perigosos de sódio trocável. Entretanto, culturas sensíveis como fruteiras de caroço podem acumular quantidades prejudiciais de sódio
S2	$18,87 - 4,44\log CE < RAS < 31,31 - 6,66\log CE$	Água de baixa sodicidade ou com baixa concentração de sódio. Pode ser usada para irrigação na maioria dos solos, com pouca probabilidade de se atingir níveis perigosos de sódio trocável. Entretanto, culturas sensíveis como fruteiras de caroço podem acumular quantidades prejudiciais de sódio.
S3	$31,31 - 6,66\log CE < RAS < 43,75 - 8,87\log CE$	Água de alta sodicidade ou com alta concentração de sódio. Pode produzir níveis tóxicos de sódio trocável na maioria dos solos, necessitando de práticas especiais de manejo: boa drenagem, alta lixiviação e adição de condicionadores químicos ou orgânicos.
S4	$RAS > 43,75 - 8,87\log CE$	Água de muito alta sodicidade ou de muito alta concentração de sódio. É uma classe inadequada para irrigação exceto quando sua salinidade é baixa ou média e quando a dissolução do cálcio do solo e aplicação de condicionadores não se torna antieconômica.

Fonte: Richards, 1956, *apud* SILVA *et al.*, 2011.

No diagrama apresentado na Figura 121, se resume as duas variáveis salinidade e permeabilidade para a verificação da qualidade da água de irrigação conforme RICHARDS (1954, *apud* SILVA *et al.*, 2011).

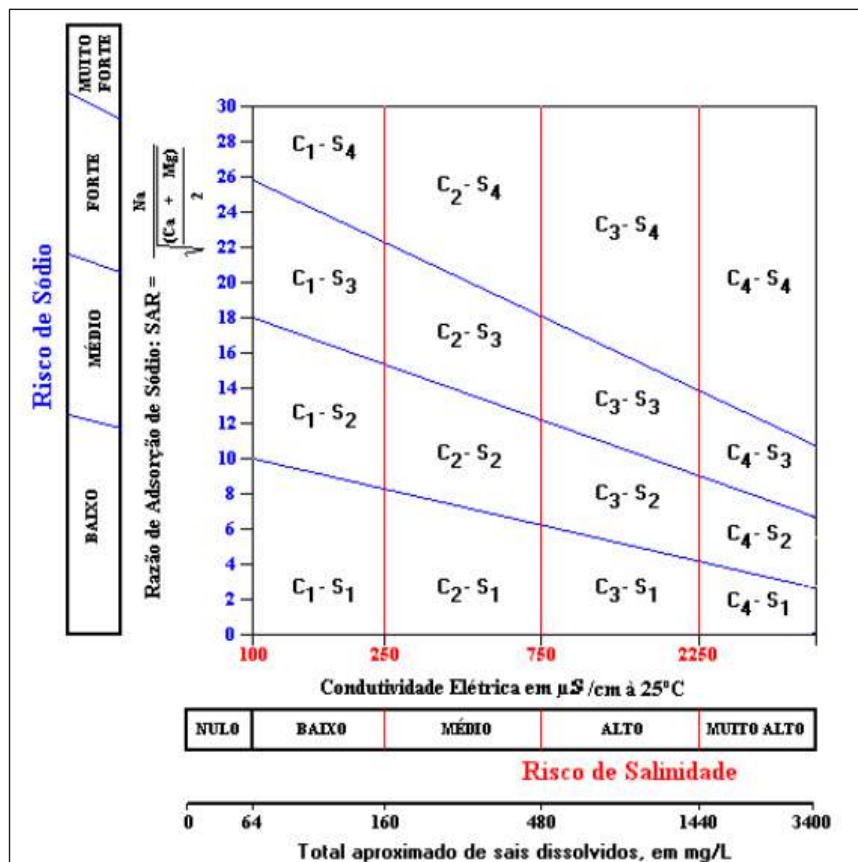


Figura 121 – Diagrama para classificação de águas para irrigação (RICHARDS, 1954, *apud* SILVA *et al.*, 2011).

6.2.3.3 Toxicidade

A toxicidade está normalmente relacionada com a presença de íons cloro, sódio e boro na água de irrigação. Quando estes íons são absorvidos e acumulados pelas plantas em concentrações altas provocam danos a cultura de um modo geral. A toxicidade está relacionada com a salinização e sodificação do solo.

Os íons de cloro e sódio, além de serem os mais presentes nas águas de irrigação, podem ser absorvidos pelas raízes, movimentados pelo caule e acumulados nas folhas, ou diretamente pelas folhas molhadas durante a irrigação por aspersão. De maneira geral, as culturas perenes, como as frutíferas, são mais sensíveis que as de ciclo curto no que diz respeito à toxidez por íons de cloro, sódio e boro (BERNARDO *et al.*, 2006).

6.2.3.3 Qualidade da água para a irrigação

Na Tabela 26 se resume as diretrizes para interpretar se uma água é adequada ou não para ser utilizada na irrigação.

Tabela 26 - Diretrizes para interpretar a qualidade da água para irrigação.

Problemas e constituintes relacionados com	Unidades	Grau de restrição para uso		
		Nenhum	Moderado	Severo
SALINIDADE				
CE	dS/m	< 0,7	0,7 a 3,0	> 3,0
SST	mg/L	< 450	450 a 2000	> 2000
INFILTRAÇÃO				
RAS = 0 a 3 e CE =	dS/m	> 0,7	0,7 – 0,2	< 0,2
RAS = 3 a 6 e CE =	dS/m	> 1,2	1,2 – 0,3	< 0,3
RAS = 6 a 12 e CE =	dS/m	> 1,9	1,9 – 0,5	< 0,5
RAS = 12 a 20 e CE =	dS/m	> 2,9	2,9 – 1,3	< 1,3
RAS = 20 a 40 e CE =	dS/m	> 5,0	5,0 – 2,9	< 2,9
TOXICIDADE				
Sódio (Na+)	RAS	< 3,0	3,0 – 9,0	> 9,0
- Irrigação por superfície	m _{eq} /L	< 3,0	3,0 – 9,0	> 9,0
- Irrigação por aspersão				
Cloro (Cl)				
- Irrigação por superfície	m _{eq} /L	< 4,0	4,0 – 10,0	> 10,0
- Irrigação por aspersão	m _{eq} /L	< 3,0	> 3,0	
Boro (Bo)	m _{eq} /L	< 0,7	0,7 a 3,0	> 3,0
MISCELÂNEA				
Nitrogênio (NO ₃ -N)	mg/L	< 5,0	5,0 a 30,0	> 3,0
Bicarbonato (HCO ₃ -)				
Irrigação por aspersão		< 1,5	1,5 – 8,5	> 8,5
pH	Amplitude normal de 6,5 a 8,4			

Fonte: Apostila de Manejo de água-planta em solos salinos do Prof. PAULO AFONSO FERREIRA (apud SILVA *et al.*, 2011).

A RAS (Razão de Adsorção de Sódio), influi na permeabilidade do solo, e é calculada conforme a Equação:

$$RAS = \frac{Na^{+}}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}$$

Onde:

RAS, relação de adsorção de sódio;

Na, Ca e Mg, concentrações dos elementos sódio, cálcio e magnésio em [m_{eq}/L].

6.3 Legislação Ambiental sobre Irrigação

A Legislação Ambiental Brasileira é amparada pela Lei nº 6.938/81 e seu Decreto regulamentador nº 6.902/81, dispondo sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, tendo em por objetivo, conforme o artigo 2º, a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana, atendidos os princípios: manutenção do equilíbrio ecológico; racionalização do uso do solo, do subsolo, da água e do ar; planejamento e fiscalização do uso dos recursos ambientais; proteção dos ecossistemas; controle e zoneamento das atividades potencial ou efetivamente poluidoras; incentivos ao estudo e à pesquisa de tecnologias orientadas para o uso racional e a proteção dos recursos ambientais; acompanhamento do estado da qualidade ambiental; recuperação de áreas degradadas; e proteção de áreas ameaçadas de degradação; dentre outros princípios elencados.

Mais diretamente, na Resolução CONAMA nº 1, de 23/01/1986, foi estabelecido a exigência de elaboração de Estudo de Impacto Ambiental - EIA e respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) para permitir o licenciamento de diversas atividades modificadoras do meio ambiente, inclusive irrigação, bem como definiu as diretrizes e atividades técnicas para a sua elaboração.

Neste item, discorre-se sobre a legislação ambiental federal correlatas aos projetos de irrigação, notadamente sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos, Política Nacional de Irrigação, Licenciamento de Projetos de Irrigação, Outorga de

Água, Outorga e Segurança de Barragens, Pagamento pelo Uso da Água, Código Florestal, Reúso de Água para Irrigação e Enquadramento e Classificação dos corpos de água. Ressalva-se tratar-se de material apenas indicativo, devendo para uma consulta mais pormenorizada, consultar os textos na íntegra, principalmente pelo aspecto das atualizações frequente que estas legislações e normas estão sujeitas, observando-se tratar-se no presente contexto de um retrato até março de 2021.

Em cada Unidade da Federação há toda uma legislação pertinente que complementam a Legislação da Federação, não sendo objeto presentemente o detalhamento desta nos demais âmbitos, devido a diversidade de legislações estaduais, regionais e até municipais que podem estarem direta ou indiretamente ligadas ao tema da irrigação. Porém, a legislação federal é norteadora da política ambiental e de recursos hídricos, cabendo aos demais órgãos ambientais complementar e suplementar a matéria e a sua operacionalidade, principalmente em relação aos instrumentos de licenciamento, outorga e cobrança pelo uso da água.

6.3.1 Política Nacional de Recursos Hídricos

CONSTITUIÇÃO DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL DE 1988

Apresentando-se os aspectos sobre a dominialidade dos recursos hídricos, bens da união (artigo 20 inciso III) e bens dos estados (artigo 26); sobre o sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos e outorga (artigo 21, inciso XIX); enfatizando no artigo 43º (parágrafos 1º, item IV e 2º) a importância dos repasseamentos e pequena irrigação para a redução das desigualdades regionais.

Assim:

Art. 20. São bens da União:

III - os lagos, rios e quaisquer correntes de água em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais;

Art. 21. Compete à União:

XVIII - planejar e promover a defesa permanente contra as calamidades públicas, especialmente as secas e as inundações;

XIX - instituir sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos e definir critérios de outorga de direitos de seu uso;

Art. 26. Incluem-se entre os bens dos Estados:

I - as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas, neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obras da União;

Art. 43. Para efeitos administrativos, a União poderá articular sua ação em um mesmo complexo geoeconômico e social, visando a seu desenvolvimento e à redução das desigualdades regionais.

§ 1º Lei complementar disporá sobre: IV - prioridade para o aproveitamento econômico e social dos rios e das massas de água represadas ou represáveis nas regiões de baixa renda, sujeitas a secas periódicas.

§ 3º Nas áreas a que se refere o § 2º, IV, a União incentivará a recuperação de terras áridas e cooperará com os pequenos e médios proprietários rurais para o estabelecimento, em suas glebas, de fontes de água e de pequena irrigação.

Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 (Lei das Águas)

Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal. Sobre os fundamentos desta política, destaca-se que o uso prioritário é o consumo humano e a dessedentação de animais (artigo 1º, inciso III). Dentre os objetivos (artigo 2º) tem-se a racionalização do uso da água e o aproveitamento da água de chuva. Relaciona também os instrumentos (artigo 5º) necessários para o cumprimento da política como: enquadramento dos corpos de água em classes de uso; a outorga dos direitos de uso; a cobrança pelo uso da água, dentre outros, condicionando no artigo 13º a prioridades de outorga conforme os Planos de Recursos Hídricos e o enquadramento dos corpos de água, preservando-se o uso múltiplo destes. Assim:

CAPÍTULO I - DOS FUNDAMENTOS, Artigo 1º A Política Nacional de Recursos Hídricos baseia-se nos seguintes fundamentos:

I - a água é um bem de domínio público;

II - a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;

III - em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;

IV - a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;

V - a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;

VI - a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

CAPÍTULO II - DOS OBJETIVOS, Artigo 2º São objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos:

I - assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos;

II - a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável;

III - a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais.

IV - incentivar e promover a captação, a preservação e o aproveitamento de águas pluviais (Incluído pela Lei nº 13.501, de 2017).

CAPÍTULO IV - DOS INSTRUMENTOS, Artigo 5º São instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos:

I - os Planos de Recursos Hídricos;

II - o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água;

III - a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos;

IV - a cobrança pelo uso de recursos hídricos;

V - a compensação a municípios;

VI - o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos.

SEÇÃO III - DA OUTORGA DE DIREITOS DE USO DE RECURSOS HÍDRICOS, Artigo 13. Toda outorga estará condicionada às prioridades de uso estabelecidas nos Planos de Recursos Hídricos e deverá respeitar a classe em que o corpo de água estiver enquadrado e a manutenção de condições adequadas ao transporte aquaviário, quando for o caso.

Parágrafo único. A outorga de uso dos recursos hídricos deverá preservar o uso múltiplo destes.

TÍTULO II - DO SISTEMA NACIONAL DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS, CAPÍTULO I – DOS OBJETIVOS E DA COMPOSIÇÃO, Artigo 32. Fica criado o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, com os seguintes objetivos:

I - coordenar a gestão integrada das águas;

II - arbitrar administrativamente os conflitos relacionados com os recursos hídricos;

III - implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos;

IV - planejar, regular e controlar o uso, a preservação e a recuperação dos recursos hídricos;

V - promover a cobrança pelo uso de recursos hídricos.

Art. 33. Integram o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos:

I - o Conselho Nacional de Recursos Hídricos;

II - os Conselhos de Recursos Hídricos dos Estados e do Distrito Federal;

III - os Comitês de Bacia Hidrográfica;

IV - os órgãos dos poderes públicos federal, estaduais e municipais cujas competências se relacionem com a gestão de recursos hídricos;

V - as Agências de Água.

Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000

Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. Assim:

CAPÍTULO I - Dos Objetivos, Artigo 1º Esta Lei cria a Agência Nacional de Águas – ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, integrante do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, estabelecendo regras para a sua atuação, sua estrutura administrativa e suas fontes de recursos.

6.3.2 Política Nacional de Irrigação

Lei nº 12.787, de 11 de janeiro de 2013

Dispõe sobre a Política Nacional de Irrigação, afirmando o princípio de uso e manejo sustentável para a irrigação (artigo 3º inciso I), dentre outros, objetivando: ampliar a área irrigada e aumentar a produtividade; reduzir os riscos climáticos (secas); promover o desenvolvimento local e regional; abastecer o mercado interno de alimentos, de fibras e de energia renovável; gerar de excedentes agrícolas para exportação; capacitar recursos humanos e fomentar a geração e transferência de tecnologias relacionadas a irrigação; e incentivar projetos privados de irrigação, conforme apresentado no Capítulo III (artigo 4º). Dentre outras, a Lei prevê incentivos fiscais para os projetos de irrigação públicos ou privados (artigo 11). Indica também a necessidade de licenciamento ambiental para os projetos de irrigação (artigo 22), observando-se no parágrafo 2º a possibilidade de declaração de utilidade pública barramentos em APPs com fins de irrigação, condicionando no artigo 23 que a utilização de recurso hídrico por projeto de irrigação dependerá de prévia outorga do direito de uso de recursos hídricos. Assim:

CAPÍTULO II - DOS PRINCÍPIOS, Artigo 3º A Política Nacional de Irrigação rege-se pelos seguintes princípios:

I - uso e manejo sustentável dos solos e dos recursos hídricos destinados à irrigação;

II - integração com as políticas setoriais de recursos hídricos, de meio ambiente, de energia, de saneamento ambiental, de crédito e seguro rural e seus respectivos planos, com prioridade para projetos cujas obras possibilitem o uso múltiplo dos recursos hídricos;

III - articulação entre as ações em irrigação das diferentes instâncias e esferas de governo e entre estas e as ações do setor privado;

IV - gestão democrática e participativa dos Projetos Públicos de Irrigação com infraestrutura de irrigação de uso comum, por meio de mecanismos a serem definidos em regulamento;

V - prevenção de endemias rurais de veiculação hídrica.

CAPÍTULO III - DOS OBJETIVOS, Art. 4º A Política Nacional de Irrigação tem por objetivos:

I - incentivar a ampliação da área irrigada e o aumento da produtividade em bases ambientalmente sustentáveis;

II - reduzir os riscos climáticos inerentes à atividade agropecuária, principalmente nas regiões sujeitas a baixa ou irregular distribuição de chuvas;

III - promover o desenvolvimento local e regional, com prioridade para as regiões com baixos indicadores sociais e econômicos;

IV - concorrer para o aumento da competitividade do agronegócio brasileiro e para a geração de emprego e renda;

V - contribuir para o abastecimento do mercado interno de alimentos, de fibras e de energia renovável, bem como para a geração de excedentes agrícolas para exportação;

VI - capacitar recursos humanos e fomentar a geração e transferência de tecnologias relacionadas a irrigação;

VII - incentivar projetos privados de irrigação, conforme definição em regulamento.

CAPÍTULO IV - DOS INSTRUMENTOS, Seção III - Dos Incentivos Fiscais, do Crédito e do Seguro Rural, Artigo 11. Os projetos públicos e privados de irrigação poderão receber incentivos fiscais, nos termos da legislação específica, que observará as regiões com os mais baixos indicadores de desenvolvimento social e econômico, bem como as consideradas prioritárias para o desenvolvimento regional.

CAPÍTULO V - DA IMPLANTAÇÃO DOS PROJETOS DE IRRIGAÇÃO, Seção I - Disposições Gerais, Artigo 22. A implantação de projeto de irrigação dependerá de licenciamento ambiental, quando exigido em legislação federal, estadual, distrital ou municipal específica.

§ 2º As obras de infraestrutura de irrigação, inclusive os barramentos de cursos d'água que provoquem intervenção ou supressão de vegetação em área de preservação permanente, poderão ser consideradas de utilidade pública para efeito de licenciamento ambiental, quando declaradas pelo poder público federal essenciais para o desenvolvimento social e econômico.

Artigo 23. A utilização de recurso hídrico por projeto de irrigação dependerá de prévia outorga do direito de uso de recursos hídricos, concedida por órgão federal, estadual ou distrital, conforme o caso.

6.3.2 Estudo de Impacto Ambiental (EIA/Rima)

Resolução CONAMA nº 1, de 23 de janeiro de 1986

Disciplina o Estudo de Impacto Ambiental e respectivo Relatório (EIA/RIMA), relaciona no Artigo 2º, inciso XVII, incluído pela Resolução CONAMA nº 11, de 10/03/1986, indicando este tipo de estudo para Projetos Agropecuários de grande porte, acima de 1000 ha (incluindo-se assim a irrigação nestes projetos), conforme:

Artigo 2º - Dependerá de elaboração de estudo de impacto ambiental e respectivo relatório de impacto ambiental - RIMA, a serem submetidos à aprovação do órgão estadual competente, e do IBAMA em caráter supletivo, o licenciamento de atividades modificadoras do meio ambiente, tais como:

XVII - Projetos Agropecuários que contemplem áreas acima de 1.000 ha. ou menores, neste caso, quando se tratar de áreas significativas em termos percentuais ou de importância do ponto de vista ambiental, inclusive nas áreas de proteção ambiental. [incluído pela Resolução CONAMA 11, de 18/03/1986].

Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997

Dispõe sobre o Licenciamento Ambiental, impondo no Artigo 3º, EIA/RIMA para as atividades com significativo potencial de degradação do meio, cabendo aos estados enquadramento e definição de critérios e demais exigências. Assim:

Artigo 3º - A licença ambiental para empreendimentos e atividades consideradas efetivas ou potencialmente causadoras de significativa degradação do meio dependerá de prévio estudo de impacto ambiental e respectivo relatório de impacto sobre o meio ambiente (EIA/RIMA), ao qual dar-se-á publicidade, garantida a realização de audiências públicas, quando couber, de acordo com a regulamentação.

Parágrafo único. O órgão ambiental competente, verificando que a atividade ou empreendimento não é potencialmente causador de significativa degradação do meio ambiente, definirá os estudos ambientais pertinentes ao respectivo processo de licenciamento.

6.3.3 Licenciamento de Projetos de Irrigação

Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997

Dispõe sobre o Licenciamento Ambiental, e relaciona no Anexo I, a Atividade 21 - Atividades agropecuárias (projeto agrícola), com a exigência de licenciamento ambiental, cabendo aos estados definição de critérios e demais exigências, conforme o Artigo 2º, sendo elencados os tipos de licenças (LP, LI e LO) no Artigo 8º. Assim:

Artigo 2º - A localização, construção, instalação, ampliação, modificação e operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras, bem como os empreendimentos capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, dependerão de prévio licenciamento do órgão ambiental competente, sem prejuízo de outras licenças legalmente exigíveis.

§ 1º- Estão sujeitos ao licenciamento ambiental os empreendimentos e as atividades relacionadas no Anexo 1, parte integrante desta Resolução.

§ 2º- Caberá ao órgão ambiental competente definir os critérios de exigibilidade, o detalhamento e a complementação do Anexo 1, levando em consideração as especificidades, os riscos ambientais, o porte e outras características do empreendimento ou atividade.

Artigo 8º - O Poder Público, no exercício de sua competência de controle, expedirá as seguintes licenças:

I - Licença Prévia (LP) - concedida na fase preliminar do planejamento do empreendimento ou atividade aprovando sua localização e concepção, atestando a viabilidade ambiental e estabelecendo os requisitos básicos e condicionantes a serem atendidos nas próximas fases de sua implementação;

II - Licença de Instalação (LI) - autoriza a instalação do empreendimento ou atividade de acordo com as especificações constantes dos planos, programas e

projetos aprovados, incluindo as medidas de controle ambiental e demais condicionantes, da qual constituem motivo determinante;

III - Licença de Operação (LO) - autoriza a operação da atividade ou empreendimento, após a verificação do efetivo cumprimento do que consta das licenças anteriores, com as medidas de controle ambiental e condicionantes determinados para a operação.

Resolução CONAMA nº 284, de 30 de agosto de 2001

Dispõe sobre o licenciamento de empreendimentos de irrigação, em cujo artigo 1º classifica os projetos de irrigação de acordo com o porte e tecnologia empregada, bem como distribuindo a competência para o Estado, conforme o artigo 2º, restando para o IBAMA o licenciamento quando o impacto atingir mais de um Estado (artigo 8º). No artigo 4º são estipulados os tipos de licenças (LP, LI e LO), estando listados nos anexos I e II as exigências documentais dos empreendimentos de Categoria B e C respectivamente. Já os empreendimentos de Categoria A poderão ter os seus processos de licenciamento simplificados (artigo 13). Assim:

Artigo 1º Para efeito desta Resolução, os empreendimentos de irrigação serão classificados em categorias, de acordo com a dimensão efetiva da área irrigada, por propriedade individual, e o método de irrigação empregado, conforme tabela a seguir:

Tabela de classificação dos projetos de irrigação pelo método empregado e dimensão efetiva da área irrigada, por propriedade individual.

Método de irrigação empregado	ÁREA IRRIGADA / CATEGORIA				
	Área < 50 ha	50 ha a 100 ha	100 ha a 500 ha	500 ha a 1000 ha	Área > 1000 ha
Aspersão	A	A	B	C	C
Localizado	A	A	A	B	C
Superficial	A	B	B	C	C

§ 1º Os métodos de irrigação empregados compreendem:

I - Aspersão - pivô central, auto propelido, convencional e outros;

II - Localizado - gotejamento, micro aspersão, xique-xique e outros; e III - Superficial - sulco, inundação, faixa e outros.

§ 2º Entende-se como empreendimento de irrigação o conjunto de obras e atividades que o compõem, tais como: reservatório e captação, adução e distribuição de água, drenagem, caminhos internos e a lavoura propriamente dita, bem como qualquer outra ação indispensável à obtenção do produto final do sistema de irrigação.

Art. 2º Os empreendimentos de irrigação deverão ser licenciados pelo órgão ambiental competente, devendo ser prestadas todas as informações técnicas, respectivas, na forma da legislação ambiental vigente e do disposto nesta Resolução.

Parágrafo único. O empreendedor, quando da intenção de desenvolver empreendimento de irrigação, deverá orientar-se junto ao órgão ambiental licenciador sobre os procedimentos para habilitação ao respectivo licenciamento ambiental.

Art. 4º O órgão ambiental licenciador, no exercício de sua competência e controle, expedirá Licença Prévia-LP, Licença de Instalação-LI e a Licença de Operação – LO, para os empreendimentos de irrigação.

§ 1º As licenças ambientais poderão ser expedidas isolada ou sucessivamente, de acordo com a natureza, características e fase do empreendimento.

§ 2º As solicitações das licenças estabelecidas no caput deste artigo deverão ser acompanhadas dos documentos relacionados nos anexos I e II desta Resolução, de acordo com a categoria do respectivo empreendimento de irrigação.

Artigo 8º Os empreendimentos que estejam localizados em dois ou mais Estados, ou que gerem impactos ambientais diretos que ultrapassem os limites territoriais do País ou do Estado em que estiverem localizados, deverão ser licenciados pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis-IBAMA, ouvidos os órgãos ambientais dos Estados envolvidos.

Artigo 13. Os empreendimentos de irrigação da Categoria A poderão ter os seus processos de licenciamento simplificados, mediante aprovação do respectivo Conselho de Meio Ambiente.

ANEXO I: PROJETOS DA CATEGORIA B

TIPO DE LICENÇA	DOCUMENTOS NECESSÁRIOS
Licença Prévia LP	1 - Requerimento da LP; 2 - Cópia da publicação do pedido da LP; 3 - Cópia do pedido de outorga de uso da água; 4 - Certidão de anuência da Prefeitura Municipal ou do Governo do Distrito Federal; e 5 - Estudos Ambientais pertinentes.
Licença de Instalação LI	1 - Requerimento da LI; 2 - Cópia da publicação do pedido da LI; 3 - Cópia da publicação da concessão da LP; 4 - Cópia do documento da Outorga de uso da água ou outro documento que a substitua; 5 - Autorização de desmatamento ou de supressão de ecossistemas naturais expedida pelo órgão competente, quando for o caso; 6 - Projetos Ambientais e de Engenharia; e 7 - Plano de Controle Ambiental contendo, no mínimo: I - Programa de controle e proteção de solo e água; e II - Programa de monitoramento de solo e água.
Licença de Operação LO	1 - Requerimento da LO; 2 - Cópia da publicação do pedido de LO; e 3 - Cópia da publicação da concessão da LI.

ANEXO II: PROJETOS DA CATEGORIA B

TIPO DE LICENÇA	DOCUMENTOS NECESSÁRIOS
Licença Prévia LP	1 - Requerimento da LP; 2 - Cópia da publicação do pedido da LP; 3 - Certidão de anuência da Prefeitura Municipal ou do Governo do Distrito Federal; 4 - Estudos de Viabilidade Técnica, Econômica, Social e Ambiental, inclusive EIA/RIMA, quando couber; e 5 - Cópia do pedido de outorga de uso da água.
Licença de Instalação LI	1 - Requerimento da LI; 2 - Cópia da publicação do pedido da LI; 3 - Cópia da publicação da concessão da LP; 4 - Projetos Ambientais e de Engenharia; 5 - Autorização de desmatamento ou de supressão de ecossistemas naturais expedida pelo órgão competente, quando for o caso; 6 - Cópia do documento da Outorga de uso da água ou outro documento que a substitua; e 7 - Plano de Controle Ambiental envolvendo todas as fases do empreendimento, contendo, no mínimo: I - Programa de educação e mobilização ambiental; II - Programa de recuperação de áreas degradadas; III - Programa de controle e uso de explosivos na obra; IV - Programa de controle, proteção e monitoramento dos recursos hídricos e solos; V - Programa de gestão de resíduos sólidos e uso de agrotóxicos; e VI - Medidas de proteção da fauna e flora.
Licença de Operação LO	1 - Requerimento da LO; 2 - Cópia da publicação do pedido de LO; e 3 - Cópia da publicação da concessão da LI.

6.3.4 Outorga de Direito de Uso da Água

A outorga deve ser vista como instrumento de alocação de água entre os mais diversos usos dentro de uma bacia hidrográfica (ANA, 2011). Nesse sentido, a sua análise deve objetivar o alcance de alguns itens mínimos, a saber:

- atendimento das necessidades ambientais, econômicas e sociais por água;
- redução ou eliminação dos conflitos entre usuários da água; e
- possibilidade que as demandas futuras também sejam atendidas

As outorgas para rios, reservatórios, lagos e lagoas sob o domínio da União, são de responsabilidade da Agência Nacional de Águas (ANA), já as outorgas em corpos de água sob domínio do estado (rios estaduais e águas subterrâneas) são de responsabilidade dos respectivos órgãos gestores estaduais.

A posse da outorga autoriza o usuário de recursos hídricos, sob condições preestabelecidas, a utilizar a água ou realizar interferências hidráulicas nos corpos hídricos, necessárias ao seu consumo e às suas atividades produtivas, para assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água.

A outorga é exigida nas seguintes situações:

- A derivação ou captação de parcela de água existente em um corpo hídrico para consumo final;
- O lançamento de efluentes em um corpo hídrico, tratados ou não com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final;
- Outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo hídrico;
- Qualquer obra ou serviço de interferência hídrica, que possam influenciar o regime hídrico de um determinado curso d'água ou de um aquífero.

Resolução ANA nº 707, de 21 de dezembro de 2004

Dispõe sobre procedimentos de natureza técnica e administrativa a serem observados no exame de pedidos de outorga, e dá outras providências.

Artigo 6º Não são objeto de outorga de direito de uso de recursos hídricos, mas obrigatoriamente de cadastro, em formulário específico disponibilizado pela ANA:

I – serviços de limpeza e conservação de margens, incluindo dragagem, desde que não alterem o regime, a quantidade ou qualidade da água existente no corpo de água;

II – obras de travessia de corpos de água que não interferem na quantidade, qualidade ou regime das águas, cujo cadastramento deve ser acompanhado de atestado da Capitania dos Portos quanto aos aspectos de compatibilidade com a navegação; e

III – usos com vazões de captação máximas instantâneas inferiores a 1,0 L/s, quando não houver deliberação diferente do CNRH.

Artigo 8º Para emissão de outorga preventiva e de direito de uso de recursos hídricos, objetivando a utilização racional e a garantia do uso múltiplo dos recursos hídricos, a SOC (Superintendência de Outorga e Cobrança da ANA) realizará a avaliação:

I – do pleito, sob o aspecto do uso racional da água; e

II – do corpo d'água e da bacia, quanto à existência de conflito pelo uso da água.

§1º Na avaliação do pleito quanto ao uso racional da água será verificada a compatibilidade da demanda hídrica com as finalidades pretendidas, no que se refere à eficiência no uso da água, observado o seguinte:

V – na irrigação, a avaliação por ponto de captação deverá considerar a relação entre o volume captado e o volume estimado para atender às necessidades dos cultivos, a área irrigada, as características das culturas, as condições climáticas da região, o calendário agrícola, o(s) método(s) de irrigação e sua adequação às culturas irrigadas, podendo ser considerados racionais os usos associados às eficiências mínimas apresentadas Tabela A4 do Anexo I desta Resolução;

Anexo I: Tabela A4 – Irrigação.

Método	Eficiência de referência (%)
Sulcos	> 60
Inundação	> 50
Aspersão	> 75
Aspersão por pivô central	> 85
Microaspersão	> 90
Gotejamento	> 95
Tubos perfurados	> 85

Observa-se que foi ampliado os tipos de sistema de irrigação (Tabela 27) pela Nota Técnica 364 da ANA, conforme apresentado no Manual de Procedimentos Técnicos e Administrativos de Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos da Agência Nacional de Águas (ANA, 2013).

Tabela 27 - Eficiência mínima de uso de água considerada para os sistemas de Irrigação para obtenção de outorga.

Sistema de irrigação	Eficiência mínima (%)
Gotejamento	95*
Micro aspersão	90*
Tubos perfurados	85*
Sub-irrigação	60
Gotejamento subterrâneo – tubo poroso	95
Aspersão por sistema autopropelido	80
Aspersão por sistema convencional	80
Aspersão por sistema pivô central	85
Aspersão por sistema deslocamento linear	90
Aspersão por sistema pivô central com LEPA	95
Aspersão por sistema em malha	85
Sulcos abertos	65
Sulcos interligados em bacias	75
Sulcos fechados	75
Inundação	60

Fonte: N. T. nº 364/2007/GEOUT/SOF-ANA * Resolução ANA nº 707/204

O termo “eficiência de uso da água” é empregado como sinônimo da eficiência de irrigação, exprimindo a relação entre o volume de água necessário para a atividade e o volume de água captado no corpo hídrico. No caso da irrigação, significa o volume consumido pelas plantas/volume captado, sendo que as diferenças entre esses volumes podem ser consideradas como perdas, portanto, dando a

indicação do desperdício de água. O uso do termo no sentido mais genérico, mais usual em gestão dos recursos hídricos, decorre da necessidade de uniformização com as demais finalidades de outorga (ANA, 2013). Portanto a Eficiência da Irrigação é dada conforme a Equação:

$$\text{Eficiência da Irrigação [\%]} = \frac{\text{Volume Necessário}}{\text{Volume Captado}} \times 100$$

Resolução ANA nº 1.940, de 30 de outubro de 2017

Dispõe sobre critérios para definição de derivações, captações e lançamentos de efluentes insignificantes, bem como serviços e outras interferências em corpos d'água de domínio da União não sujeitos a outorga, substituindo a Resolução ANA n.º 1.175/2013.

Título I – Dos usos considerados insignificantes, Artigo 1º Para os efeitos desta Resolução, dentre os usos sujeitos a outorga, consideram-se insignificantes:

I – as derivações, captações, lançamentos de efluentes em corpos d'água de domínio da União que se enquadrem nos limites estabelecidos pelo Anexo I desta Resolução;

II – as captações iguais ou inferiores a 86,4 m³/dia; os lançamentos de efluentes com carga máxima de DBO5,20 igual ou inferior a 1,0 kg/dia e lançamento máximo de efluente com temperatura superior à do corpo hídrico igual a 216,0 m³/dia (para lançamento de efluentes com temperatura superior à do corpo hídrico e inferior a 40°C), para os corpos hídricos de domínio da União não relacionados no Anexo I desta Resolução, exceto quando Resolução específica da ANA dispuser em sentido diverso.

III – os usos de recursos hídricos em corpos d'água de domínio da União destinados ao atendimento emergencial de atividade de interesse público, a depender de fundamentação técnica da ANA;

IV – os usos de recursos hídricos em corpos d'água de domínio da União de curta duração que não se estabeleçam como uso permanente, a depender de fundamentação técnica da ANA.

§1º Não se aplica o disposto no caput aos casos em que:

a – o Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH tenha deliberado de forma diversa;

b – o comprometimento quantitativo ou qualitativo do corpo hídrico esteja acima de 95% (noventa e cinco por cento);

§2º O enquadramento do uso como insignificante será realizado pela ANA, a partir de uma solicitação de outorga que deve ser feita por meio do Sistema Federal de Regulação de Usos – Regla, poderá ser avaliado a partir do processamento automático, conforme previsto na Resolução nº 1.939, de 30 de outubro de 2017;

§3º Os usos insignificantes independentem de outorga e serão formalizados por meio de uma Declaração de Regularidade de Usos da Água que Independentem de



Outorga da ANA, que produzirá efeitos legais, perante terceiros, e em caso de exigência e solicitações de órgãos ou entidades públicas. Anexo I: Derivações, captações e lançamentos de efluentes que independem de outorga de direito de uso de recursos hídricos.

Corpo Hídrico Federal	Captação ou derivação máxima de água (m³/dia)	Lançamento máximo de carga orgânica (DBO_{5,20} em kg/dia)	Lançamento máximo de efluente com temperatura superior à do corpo hídrico (*) (m³/dia)
Rio Paraíba do Sul (a partir do reservatório da UHE Funil, inclusive, até a foz)	(Definido pelo CNRH)	15,0	850,0
Rio Doce no Estado do Espírito Santo	(Definido pelo CNRH)	70,0	4.500,0
Rio São Francisco (a partir do reservatório da UHE Três Marias, inclusive, até a foz).	(Definido pelo CNRH)	50,0	3.300,00
Rio Paranapanema (a partir do reservatório da UHE Jurumirim, inclusive, até a foz)	750,0	30,0	1.900,0
Rio Tocantins (a partir do reservatório da UHE Serra da Mesa, inclusive, até a foz do Araguaia)	1.400,0	50,0	3.500,0
Rio Iguaçu (a partir do reservatório da UHE Foz do Areia, inclusive, até a foz)	1.450,0	60,0	3700,0
Rio Parnaíba (a partir do reservatório da UHE Boa Esperança, inclusive, até a foz)	1.700,0	70,0	4.300,0
Rio Araguaia (exceto no trecho de divisa entre Goiás e Mato Grosso)	1.800,0	70,0	4.600,0
Rio Uruguai (a partir do reservatório da UHE Itá, inclusive)	2.250,0	90,0	5.650,0
Rio Grande (a partir do reservatório da UHE Furnas, inclusive, até a foz)	2.500,0	100,0	6.250,0
Rio Paranaíba (a partir do reservatório da UHE Itumbiara, inclusive, até a foz)	2.750,0	110,0	6.900,0
Lagoa Mirim	1.500,0	60,0	3.950,0
Rio Paraguai no Estado de Mato Grosso do Sul	4.150,0	170,0	10.400,0
Rio Paraná (reservatórios das UHE Ilha Solteira, Jupia e Porto Primavera)	13.000,0	520,0	32.600,0
Rio Tocantins-Araguaia (a jusante da confluência entre os rios Tocantins e Araguaia)	15.650,0	630,0	39.150,0
Bacia Amazônica (rios Solimões, Amazonas, Negro, Xingu, Tapajós, Madeira) e Rio Paraná (a jusante da UHE Porto Primavera até a foz do rio Iguaçu)	19.000,0	760,0	47.650,0

DBO_{5,20}: Demanda Bioquímica de Oxigênio (carga orgânica).

(*) Para os casos de lançamento de efluentes com temperaturas superiores à do corpo hídrico da União e inferiores a 40°C.

Título II – Dos usos não sujeitos à outorga, Artigo 3º Consideram-se usos não sujeitos à outorga as interferências em corpos de água que não alterem o regime de vazões, tais como:

I – Os serviços de escavação, dragagem e limpeza de margens e leito de rio, lago ou reservatório, para fins de:

- a. Desassoreamento;
- b. Conservação de margens;
- c. Extração mineral, exceto no caso de areia em leito de rio em que haja captação de água destinada à composição de polpa para transporte, por meio de bombeamento, por tubulação, do material proveniente da dragagem até a área de beneficiamento, onde se realiza a lavagem, a separação, a estocagem e a expedição do material;
- d. Outros fins que não alterem o regime de vazão dos corpos hídricos.

II – As obras hidráulicas que não alterem o regime de vazões e de níveis d'água relacionadas a:

- a. Obras de travessia de corpos de água tais como pontes, passagens molhadas, bueiros e dutos;
- b. CONTENÇÃO de taludes;
- c. Derrocamento;
- d. Diques;
- e. Retificação/canalização;
- f. Outros.

§1º Os serviços constantes do inciso I deste artigo, desde que não alterem o regime de vazões, não são obrigados a encaminhar pedido de outorga, no entanto, caso necessitem atender a exigências de órgãos e entidades de âmbito federal, estadual e municipal, os usuários poderão obter uma Declaração de Regularidade de Serviços Não Sujeitos a Outorga da ANA, a partir de uma solicitação de outorga realizada por meio do Sistema Federal de Regulação de Usos – Regla, devendo o responsável pelos serviços zelar para que a sua realização não traga prejuízos aos usuários de recursos hídricos.

§2º Os usuários de recursos hídricos responsáveis pelas interferências constantes do inciso II deste artigo deverão realizar solicitação de outorga, por meio do Sistema Federal de Regulação de Usos – Regla, e farão jus a uma Declaração de Regularidade de Interferências Não Sujeitas a Outorga da ANA.

§3º Os usuários de recursos hídricos responsáveis pelas interferências relacionadas no inciso II deste artigo deverão zelar para que o seu dimensionamento não traga prejuízos aos usuários de recursos hídricos, para que atenda às vazões de cheia para o risco compatível com o porte do empreendimento, bem como à manutenção das condições de navegabilidade, ficando obrigados a fornecer a qualquer tempo, por solicitação da ANA, documentação relativa ao projeto, bem como comprovações de regularidade junto a outros órgãos e entidades competentes.

Resolução ANA nº 1.041, de 19 de agosto de 2013

Conforme resumido no Manual de Procedimentos Técnicos e Administrativos de Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos da Agência

Nacional de Águas (2013) o prazo de validade das outorgas de direito de uso de recursos hídricos de domínio da União é de:

Prazo de 10 (dez) anos para:

- Irrigação de lavouras de até 2.000 ha;
- Unidades industriais e afins com vazão de captação máxima instantânea de até 1m³/s;
- Aquicultura e dessedentação animal;
- Extração de areia em leito de rio e outras atividades minerárias;
- Outras finalidades não mencionadas acima.

No caso de atividades minerárias em fase de pesquisa mineral, o prazo de validade da outorga mencionado acima poderá ser reduzido para 5 (cinco) anos.

Prazo de 20 (vinte) anos para:

- Irrigação de lavouras superiores a 2.000 ha;
- Unidades industriais e afins com vazão de captação máxima instantânea superiores 1 m³/s;

Prazo de 35 (trinta e cinco) anos:

- Barragens de regularização de vazões ou de aproveitamento hidrelétrico sem concessão ou ato administrativo de autorização e outras obras hidráulicas que necessitem de outorga.
- Abastecimento público e esgotamento sanitário operados por prestadores de serviços que independem de concessão ou ato administrativo de autorização. Para concessionárias e autorizadas de serviços públicos e de geração de energia hidrelétrica, o prazo de validade da outorga deverá coincidir com os prazos constantes dos correspondentes contratos de concessão e atos administrativos de autorização.

Critérios para a Outorga de Captação de Água

A outorga para captação de águas pode ser aplicada de três formas principais: captação de água superficial a fio d'água; captação de água superficial de represamentos; e captação de água subterrânea. A primeira, a fio d'água, representam retiradas da água diretamente do curso d'água ou de pequena barragem com reservatório de volume desprezível. A segunda, ainda captação superficial, pode ser feita em depósitos de água como lagos, açudes, lagoas ou reservatórios formados por barramentos. A terceira forma são captações de poços rasos ou profundos de

água subterrânea. Para cada uma dessas formas, a outorga deve ser avaliada de maneira distinta.

Outorga a fio d'água

A análise quanto à disponibilidade hídrica é avaliada em função das vazões de referência mínimas adotada que ocorre naturalmente nos cursos de água ou com regularização hidráulicas como barragens, levando-se conta a vazão remanescente desejada e a parcela a ser distribuída para todos os usuários da bacia hidrográfica.

Vazões Inexpressivas

A Tabela 28 relaciona os valores dos usos de pouca expressão, nos diversos órgãos gestores. Esses valores são considerados como referências iniciais, mas é preciso avaliar a compatibilidade com os principais usos e a disponibilidade dos recursos hídricos das bacias de cada região.

Tabela 28 - Vazões de pouca expressão por estado.

Órgão gestor	Limites máximos de vazões consideradas de pouca expressão	Legislação referente à definição das vazões de pouca expressão
Inema-BA	0,5 L/s	Decreto Estadual nº 6.296/1997
SRH-CE	2,0 m³/h (0,56 L/s – para águas superficiais e subterrâneas)	Decreto Estadual nº 23.067/1994
Igam-MG	1,0 L/s para a maior parte do Estado e 0,5 L/s para as regiões de escassez (águas superficiais) 10,0 m³/dia (águas subterrâneas)	Deliberação CERH-MG nº 09/2004
Aesa-PB	2,0 m³/h (0,56 L/s – para águas superficiais e subterrâneas)	Decreto Estadual nº 19.260/1997
Ipáguas-PR	1,0 m³/h (0,3 L/s)	
Apac-PE	0,5 L/s ou 43 m³/dia (águas superficiais) 5,0 m³/dia (águas subterrâneas para abastecimento humano)	Decreto Estadual nº 20.423/1998
Igarn-RN	1,0 m³/h (0,3 L/s)	Decreto Estadual nº 13.283/1997
Sema-RS	Média mensal até 2,0 m³/dia (águas subterrâneas)	Decreto Estadual nº 42047/2002
DAEE-SP	5,0 m³/dia (águas subterrâneas)	Decreto Estadual nº 32.955/1991
Semarh-SE	2,5 m³/h (0,69 L/s)	Resolução nº 01/2001
Naturatins-TO	0,25 L/s ou 21,60 m³/dia	Portaria Naturatins nº 118/2002

Fonte: Ana (2007)

Vazões de Referência

Vazão outorgável é a vazão disponível para ser outorgada, já as vazões de referência utilizadas, segundo Cardoso da Silva e Monteiro (2004, apud ANA, 2011), são as vazões mínimas, de forma a caracterizar uma condição de alta garantia de água no manancial. A partir dessa condição, são realizados os cálculos de alocação da água, de modo que, quando essas vazões mínimas ocorram, os usuários ou os usos prioritários mantenham, de certa forma, suas retiradas de água. As vazões mínimas aplicadas como referência são vazões de elevada permanência no tempo, calculadas de forma estatística (ANA, 2011).

A definição da vazão de referência a ser aplicada depende da garantia de atendimento que se deseja considerar para os usos a serem instalados em determinada bacia. Se os usos exigem maior garantia, deve-se optar por vazões mais conservadoras, como a Q_{95} e a $Q_{7,10}$. Após a definição das vazões de referência, deve ser determinado o percentual máximo a ser alocado para a divisão entre os diversos usos da bacia. Segundo a ANA (2011), a determinação desse percentual deve ser realizada em função da possibilidade de atendimento aos diversos usos na bacia e das vazões mínimas remanescentes que se deseja manter nos cursos d'água.

Quando o poder público analisa uma solicitação de outorga de um dado usuário, considerando uma captação a fio d'água em cursos d'água superficiais, ele deve considerar a vazão solicitada para o empreendimento frente ao percentual definido como outorgável em relação à vazão de referência adotada, Q_{90} , Q_{95} e $Q_{7,10}$:

Q_{90} é a vazão determinada a partir das observações em um posto fluviométrico em certo período de tempo, em que em 90% daquele período as vazões foram iguais ou superiores a ela. Em outras palavras, pode-se aceitar que existe um nível de 90% de garantia de que naquela seção do curso d'água as vazões sejam maiores do que o Q_{90} . Diz-se que a Q_{90} é a vazão com 90% de permanência no tempo, podendo ser extrapolado para outras seções do curso d'água, com base na área da bacia hidrográfica contribuinte e nas quantidades de chuvas da região.

Q_{95} tem o mesmo significado que a Q_{90} , entretanto a garantia corresponde a 95% do tempo de observação. Isso significa que a vazão em determinado corpo d'água é igual ou superior àquele valor em 95% do tempo. Por exemplo, se a Q_{95} de determinado rio é 10 m³/s, isso significa que durante aproximadamente 347 dias ao ano, ou seja, 95% dos dias, a vazão naquele

rio é maior ou igual a 10 m³/s. Se considerarmos Q₉₀, o tempo de permanência da vazão cai de 347 (95%) para 329 (90%) dias ao ano, assim o valor da vazão de referência aumenta, pois a garantia de permanência daquela vazão diminui.

Q_{7,10} é a menor vazão média consecutiva de sete dias que ocorreria com um período de retorno de uma vez em cada 10 anos. O cálculo da Q_{7,10} é probabilístico, enquanto os da Q₉₀ e da Q₉₅ decorrem de uma análise de frequências.

Na Tabela 29 se relacionam os critérios adotados por alguns órgãos para a outorga de captações de águas superficiais.

Tabela 29 - Critérios adotados para outorga de captação de águas superficiais.

Órgão gestor	Vazão máxima outorgável	Legislação referente à vazão máxima outorgável
ANA	70% da Q ₉₅ podendo variar em função das peculiaridades de cada região. Até 20% para cada usuário	Não existe, em função das peculiaridades do país, podendo variar o critério
Inema-BA	80% da Q ₉₀ . Até 20% para cada usuário	Decreto Estadual nº 6.296/1997
SRH-CE	90% da Q _{90reg}	Decreto Estadual nº 23.067/1994
Semarh-GO	70% da Q ₉₅	Não possui legislação específica
Igam-MG	30% da Q _{7,10} para captações a fio d'água e em reservatórios, podem ser liberadas vazões superiores, mantendo o mínimo residual de 70% da Q _{7,10} durante todo o tempo	Portarias do Igam nº 010/1998 e 007/1999
Aesa-PB	90% da Q _{90reg} . Em lagos territoriais, o limite outorgável é reduzido em 1/3	Decreto Estadual nº 19.260/1997
Ipáguas-PR	50% da Q ₉₅	Decreto Estadual nº 4.646/2001
Apac-PE	Depende do risco que o requerente pode assumir	Não existe legislação específica
Semar-PI	80% da Q ₉₅ (rios) e 80% da Q _{90reg} (açudes)	Não existe legislação específica
Igarn-RN	90% da Q _{90reg}	Decreto Estadual nº 13.283/1997
DAEE-SP	50% da Q _{7,10} por bacia. Até 20% da Q _{7,10} para cada usuário	Não existe legislação específica
Semarh-SE	100% da Q ₉₀ . Até 30% da Q ₉₀ para cada usuário	Não existe legislação específica
Naturatins-TO	75% Q ₉₀ por bacia. Até 25% da Q ₉₀ para cada usuário. Para barragens de regularização, 75% da vazão de referência adotada	Decreto estadual aprovado pela Câmara de outorga do Conselho Estadual de Recursos Hídricos

Fonte: Ana (2007)

Outorga de captação em represamento

Nas outorgas para captação de águas de reservatórios são consideradas as vazões regularizadas como outorgada, que permite, ao mesmo tempo, a manutenção de vazões mínimas a jusante do reservatório para atendimento a demandas ambientais e de outros usos antrópicos existentes ou planejados. No caso de captações em reservatórios, o objetivo principal é dividir a vazão regularizada para os usuários existentes ou previstos em seu entorno. Esse procedimento pode ocorrer para rios intermitentes ou perenes. Nesse caso, as outorgas são avaliadas em função de uma vazão de referência, que é definida e calculada tomando por base a regularização proporcionada pelo reservatório. Porém, como os rios que afluem aos reservatórios são intermitentes, pode-se considerar que ao final do período chuvoso, os volumes acumulados são aqueles que podem ser divididos ou alocados entre todos os usuários durante o período seco subsequente.

Outorga de captação de água subterrânea

Na captação de água subterrânea, comumente denominada exploração de água, o critério para a outorga leva em conta a sustentabilidade do aquífero.

As águas subterrâneas podem ser retiradas através de poços rasos ou profundos. Os poços rasos são escavados em locais onde o nível do lençol freático é próximo a superfície, não necessitando de grandes escavações, porém, estão mais sujeitos à contaminação. Já os poços tubulares podem ser perfurados a grandes profundidades, com o objetivo de atingir aos melhores aquíferos, com maior disponibilidade de água e suas principais vantagens são a qualidade dessas águas e a possibilidade de serem perfurados em locais mais próximos ao uso desejado. Para a obtenção da outorga deve ser informado o local de perfuração, a expectativa de vazão e o tipo de aquífero esperado. A análise para a autorização de perfuração verifica a existência de outros poços na região que poderiam ser afetados pelo novo poço, ou mesmo riachos e córregos.

A análise de disponibilidade hídrica dos poços tubulares é realizada por meio dos resultados de teste de bombeamento e da avaliação da recarga do aquífero (quantidade de água repostada por meio da infiltração das águas de chuva). É importante que a vazão máxima a ser captada seja sustentável em termos de recarga, uma vez que a super exploração (retirada excessiva de água) pode levar o aquífero à exaustão.

A vazão máxima sustentável, é a quantidade de água retirada em determinado período não podendo ser superior à capacidade de reposição de água no poço, por meio de infiltração da água no solo, no mesmo período (ANA, 2011).

Passos para Obtenção da Outorga

Para solicitar a outorga na ANA, o interessado deverá cadastrar o seu empreendimento no CNARH (www.cnarh.ana.gov.br), imprimir a Declaração de Uso e enviar juntamente com os formulários e estudos específicos de cada finalidade de uso para a Superintendência de Regulação (SRE).

A documentação pode ser entregue diretamente no Protocolo Geral da ANA ou enviada pelos Correios. Na página da ANA (www.ana.gov.br) podem ser acessados os formulários necessários para dar entrada com os pedidos de outorga e a lista dos documentos e os estudos específicos (ANA, 2011).

O acompanhamento dos pedidos de outorga protocolados na ANA pode ser feito pelo site, acessando “biblioteca”, “centro de documentação” e o “protocolo geral”. A pesquisa pode ser feita pelo nome do requerente, pelo número do documento ou pelo número do processo. O interessado também pode entrar em contato por telefones ou e-mail. A solicitação de outorga na ANA é gratuita, bem como a sua publicação. Os usuários de recursos hídricos poderão solicitar a outorga de direito de uso de recursos hídricos, a sua renovação, alteração ou transferência de titularidade. A renovação da outorga deverá ser requerida à ANA com antecedência mínima de 90 dias da data de término do prazo de validade da outorga.

Cada estado dispõe de procedimentos e formulários próprios. O interessado deve entrar em contato com o respectivo órgão para mais informações. Pelo site da ANA, é possível localizar os links para os órgãos estaduais responsáveis pelas outorgas. A Resolução ANA nº 317, de 26 de agosto de 2003, instituiu o Cnarh para registro obrigatório de pessoas físicas ou jurídicas usuárias de recursos hídricos.

6.3.4 Outorga e Segurança de Barramento

Obras hidráulicas como: barramentos, canalizações, retificações e outras interferências que alterem o regime de vazões no corpo hídrico são passíveis de outorga. No caso de barragens, deverá ser observado o disposto na Resolução CNRH no 37/2004.

Os documentos e estudos técnicos necessários que devem ser apresentados à ANA para outorga de obras hidráulicas são:

- Declaração CNARH;
- Descrição geral da obra e sua finalidade;
- Mapa de região onde será implantada a obra e sua localização;
- Estudos hidrológicos e hidráulicos;
- Fotos da interferência a ser regularizada, no caso de obra já existente.
- Poderá ainda ser solicitado, a critério da ANA, Laudo Técnico da Capitania dos Portos para verificação de interferência com a navegação.

Resolução CNRH nº 129, de 29 de junho de 2011

Estabelece diretrizes gerais para a definição de vazões mínimas remanescentes.

Para a definição de vazões mínimas remanescentes a jusante de barramentos, devem, ser seguidas as diretrizes da referida Resolução, que dispõe em seu Artigo 3º que para a determinação da vazão mínima remanescente serão considerados, dentre outros critérios, a vazão de referência e os critérios de outorga. No caso da ANA, considerando que a vazão de referência para outorga é, em geral, a Q95%, esta é a vazão mínima que deve ser mantida a jusante de barramentos.

O artigo 6º dispõe que as autoridades outorgantes poderão adotar critérios diferenciados para a vazão mínima remanescente mediante a apresentação de estudos de usos múltiplos ou por justificativa técnica.

Conforme o Manual de Procedimentos da ANA (2013), na obtenção da outorga para barragens, deve-se observar a Política Nacional de Segurança de Barragens, cabendo aos titulares de outorgas para barramentos:

- I – prover os recursos necessários à garantia da segurança da barragem;
- II – providenciar, para novos empreendimentos, a elaboração do projeto final como construído;
- III – organizar e manter em bom estado de conservação as informações e a documentação referentes ao projeto, à construção, à operação, à manutenção, à segurança e, quando couber, à desativação da barragem;
- IV – informar à ANA qualquer alteração que possa acarretar redução da capacidade de descarga da barragem ou que possa comprometer a sua segurança;

- V – manter serviço especializado em segurança de barragem, conforme estabelecido no Plano de Segurança da Barragem;
- VI – permitir o acesso irrestrito da ANA e dos órgãos integrantes do Sistema Nacional de Defesa Civil - Sindec ao local da barragem e à sua documentação de segurança;
- VII – elaborar e manter atualizado o Plano de Segurança da Barragem, observando as recomendações das inspeções e as revisões periódicas de segurança;
- VIII – realizar as inspeções de segurança de barragem;
- IX – elaborar as revisões periódicas de segurança;
- X – elaborar o Plano de Ações de Emergência, quando exigido pela ANA;
- XI – manter registros dos níveis dos reservatórios, com a respectiva correspondência em volume armazenado, bem como das características químicas e físicas do fluido armazenado;
- XII – manter registros dos níveis de contaminação do solo e do lençol freático na área de influência do reservatório, quando exigido pela ANA;
- XIII – manter atualizadas as informações relativas à barragem no Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens;
- XIV – cumprir as recomendações contidas nos relatórios de inspeção e revisão periódica de segurança;
- XV – manter responsável técnico pela segurança da barragem com respectiva Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) de cargo e função válida.

Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, alterada pela Lei 14.066, de 2020

Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4o da Lei no 9.984, de 17 de julho de 2000.

CAPÍTULO I - DISPOSIÇÕES GERAIS, Artigo 1º Esta Lei estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB).

Parágrafo único. Esta Lei aplica-se a barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à

acumulação de resíduos industriais que apresentem pelo menos uma das seguintes características:

I - altura do maciço, medida do encontro do pé do talude de jusante com o nível do solo até a crista de coroamento do barramento, maior ou igual a 15 (quinze) metros; (Redação dada pela Lei nº 14.066, de 2020).

II - capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000m³ (três milhões de metros cúbicos);

III - reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis;

IV - categoria de dano potencial associado médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas, conforme definido no art. 7º desta Lei; (Redação dada pela Lei nº 14.066, de 2020).

V - categoria de risco alto, a critério do órgão fiscalizador, conforme definido no art. 7º desta Lei. (Incluído pela Lei nº 14.066, de 2020).

Art. 2º Para os efeitos desta Lei, são estabelecidas as seguintes definições:

I - barragem: qualquer estrutura construída dentro ou fora de um curso permanente ou temporário de água, em talvegue ou em cava exaurida com dique, para fins de contenção ou acumulação de substâncias líquidas ou de misturas de líquidos e sólidos, compreendendo o barramento e as estruturas associadas; (Redação dada pela Lei nº 14.066, de 2020).

II - reservatório: acumulação não natural de água, de substâncias líquidas ou de mistura de líquidos e sólidos;

III - segurança de barragem: condição que vise a manter a sua integridade estrutural e operacional e a preservação da vida, da saúde, da propriedade e do meio ambiente;

IV - empreendedor: pessoa física ou jurídica que detenha outorga, licença, registro, concessão, autorização ou outro ato que lhe confira direito de operação da barragem e do respectivo reservatório, ou, subsidiariamente, aquele com direito real sobre as terras onde a barragem se localize, se não houver quem os explore oficialmente; (Redação dada pela Lei nº 14.066, de 2020)

VI - gestão de risco: ações de caráter normativo, bem como aplicação de medidas para prevenção, controle e mitigação de riscos;

VII - dano potencial associado à barragem: dano que pode ocorrer devido a rompimento, vazamento, infiltração no solo ou mau funcionamento de uma barragem, independentemente da sua probabilidade de ocorrência, a ser graduado de acordo com as perdas de vidas humanas e os impactos sociais, econômicos e ambientais; (Redação dada pela Lei nº 14.066, de 2020)

VIII - categoria de risco: classificação da barragem de acordo com os aspectos que possam influenciar na possibilidade de ocorrência de acidente ou desastre; (Incluído pela Lei nº 14.066, de 2020)

CAPÍTULO IV - DOS INSTRUMENTOS, Seção I - Da Classificação, Artigo 7º As barragens serão classificadas pelos agentes fiscalizadores, por categoria de risco, por dano potencial associado e pelo seu volume, com base em critérios gerais estabelecidos pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH).

§ 1º A classificação por categoria de risco em alto, médio ou baixo será feita em função das características técnicas, dos métodos construtivos, do estado de conservação e da idade do empreendimento e do atendimento ao Plano de

Segurança da Barragem, bem como de outros critérios definidos pelo órgão fiscalizador. (Redação dada pela Lei nº 14.066, de 2020)

§ 2º A classificação por categoria de dano potencial associado à barragem em alto, médio ou baixo será feita em função do potencial de perdas de vidas humanas e dos impactos econômicos, sociais e ambientais decorrentes da ruptura da barragem.

§ 3º O órgão fiscalizador deverá exigir do empreendedor a adoção de medidas que levem à redução da categoria de risco da barragem. (Incluído pela Lei nº 14.066, de 2020).

Art. 11. A elaboração do PAE é obrigatória para todas as barragens classificadas como de: (Redação dada pela Lei nº 14.066, de 2020).

I - médio e alto dano potencial associado; ou (Incluído pela Lei nº 14.066, de 2020).

II - alto risco, a critério do órgão fiscalizador. (Incluído pela Lei nº 14.066, de 2020)

Parágrafo único. Independentemente da classificação quanto ao dano potencial associado e ao risco, a elaboração do PAE é obrigatória para todas as barragens destinadas à acumulação ou à disposição de rejeitos de mineração. (Incluído pela Lei nº 14.066, de 2020)

Na Figura 122 se apresenta um esquema didático da aplicação da Lei da Política Nacional de Segurança de Barragens, cujas as 5 condições não ocorridas, é dispensada a necessidade do Plano de Segurança de Barragem (PSB), caso da grandíssima maioria das barragens de irrigação.

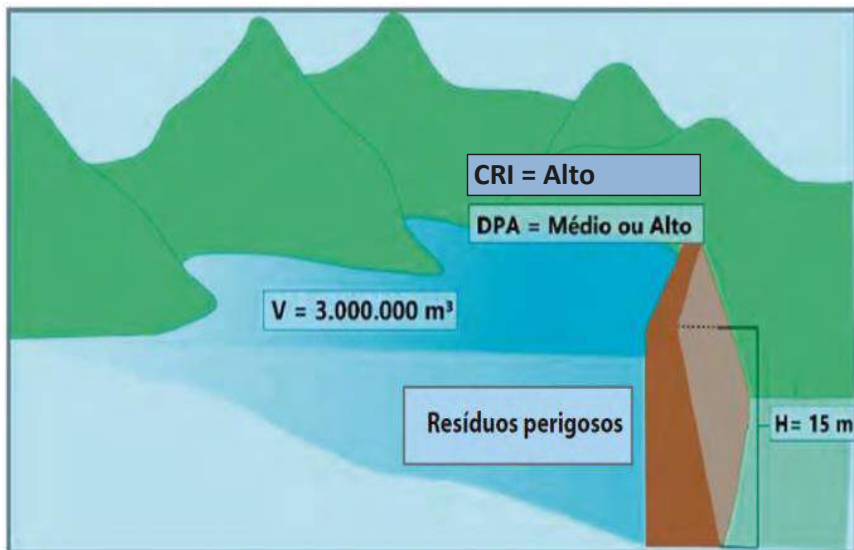


Figura 122 – Esquema simplificado para se enquadrar a barragem no PNSB (adaptado de: ANA, 2017, apud SIMA, 2019).

Resolução CNRH nº 143, de 10 de julho de 2012

Estabelece critérios gerais de classificação de barragens por categoria de risco, dano potencial associado e pelo seu volume, em atendimento ao art. 7º da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010.

Art. 3º As barragens serão classificadas pelos órgãos fiscalizadores, por categoria de risco, por dano potencial associado e pelo seu volume, com base em critérios gerais estabelecidos nesta Resolução.

Seção I - Da Classificação Quanto à Categoria de Risco

Art. 4º Quanto à categoria de risco, as barragens serão classificadas de acordo com aspectos da própria barragem que possam influenciar na possibilidade de ocorrência de acidente, levando-se em conta os seguintes critérios gerais:

I- características técnicas:

- a) altura do barramento;
- b) comprimento do coroamento da barragem;
- c) tipo de barragem quanto ao material de construção;
- d) tipo de fundação da barragem;
- e) idade da barragem;
- f) tempo de recorrência da vazão de projeto do vertedouro;

II- estado de conservação da barragem:

- a) confiabilidade das estruturas extravasoras;
- b) confiabilidade das estruturas de captação;
- c) eclusa;
- d) percolação;
- e) deformações e recalques;
- f) deterioração dos taludes.

III- Plano de Segurança da Barragem.

- a) existência de documentação de projeto;
- b) estrutura organizacional e qualificação dos profissionais da equipe técnica de segurança da barragem;
- c) procedimentos de inspeções de segurança e de monitoramento;
- d) regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem;
- e) relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação.

§1º O órgão fiscalizador poderá adotar critérios complementares tecnicamente justificados.

§2º Caberá ao órgão fiscalizador em, no máximo, a cada 5 (cinco) anos reavaliar, se assim considerar necessário, a classificação a que se refere o caput deste artigo.

§3º Caso o empreendedor da barragem não apresente informações sobre determinado critério especificado nos incisos e alíneas previstos neste artigo, ou em critérios complementares, o órgão fiscalizador aplicará a pontuação máxima para o referido critério.

Seção II - Da Classificação Quanto ao Dano Potencial Associado

Art. 5º Os critérios gerais a serem utilizados para classificação quanto ao dano potencial associado na área afetada são:

- I - existência de população a jusante com potencial de perda de vidas humanas;

II - existência de unidades habitacionais ou equipamentos urbanos ou comunitários;

III- existência de infraestrutura ou serviços;

IV- existência de equipamentos de serviços públicos essenciais;

V - existência de áreas protegidas definidas em legislação;

VI- natureza dos rejeitos ou resíduos armazenados;

VII- volume.

§1º À época da classificação levar-se-á em consideração o uso e ocupação atual do solo.

§2º Caberá ao órgão fiscalizador em, no máximo a cada 5 (cinco) anos reavaliar, se assim considerar necessário, a classificação a que se refere o caput deste artigo.

§3º O órgão fiscalizador poderá adotar critérios complementares tecnicamente justificados.

§4º Caso o empreendedor da barragem não apresente informações sobre determinado critério especificado nos incisos e alíneas previstos neste artigo ou em critérios complementares, o órgão fiscalizador aplicará a pontuação máxima para o referido critério.

Seção III - Da Classificação Quanto ao Volume

Art. 6º Para a classificação de barragens para disposição de rejeito mineral e/ou resíduo industrial, quanto ao volume de seu reservatório, considerar-se-á:

I - muito pequeno: reservatório com volume total inferior ou igual a 500 mil metros cúbicos;

II - pequena: reservatório com volume total superior a 500 mil metros cúbicos e inferior ou igual a 5 milhões de metros cúbicos;

III - média: reservatório com volume total superior a 5 milhões de metros cúbicos e inferior ou igual ou inferior a 25 milhões de metros cúbicos;

IV - grande: reservatório com volume total superior a 25 milhões e inferior ou igual a 50 milhões de metros cúbicos.

V - muito grande: reservatório com volume total superior a 50 milhões de metros cúbicos.

Art. 7º Para a classificação de barragens para acumulação de água, quanto ao volume de seu reservatório, considerar-se-á:

I- pequena: reservatório com volume inferior a 5 milhões de metros cúbicos;

II - média: reservatório com volume igual ou superior a 5 milhões de metros cúbicos e igual ou inferior a 75 milhões de metros cúbicos;

III- grande: reservatório com volume superior a 75 milhões de metros cúbicos e inferior ou igual a 200 milhões de metros cúbicos.

IV- muito grande: reservatório com volume superior a 200 milhões de metros cúbicos.

Art. 8º Para a classificação das barragens por categoria de risco, dano potencial associado e pelo seu volume, os órgãos fiscalizadores deverão considerar os quadros constantes dos Anexos I e II desta Resolução.

Conforme está estabelecido nesta Resolução 143, o Anexo I se refere à barragens de rejeitos (QUADRO PARA CLASSIFICAÇÃO DE BARRAGENS PARA DISPOSIÇÃO

DE RESÍDUOS E REJEITOS), enquanto que para o caso de barragens de água, tem-se o Anexo II (QUADRO PARA CLASSIFICAÇÃO DAS BARRAGENS DE ACUMULAÇÃO DE ÁGUA), que basicamente apresenta a sistemática de pontuação para se obter a Categoria de Risco (CRI) através de quadros comparativas com o peso de cada item considerado como: 1) Categoria Técnica (CT) da barragem (altura, comprimento, o tipo de material, tipo de fundação, idade da barragem e vazão de projeto); 2) Estado de Conservação (EC) da barragem (confiabilidade das estruturas extravasores, de adução; percolação; deformações e recalques, deterioração dos Taludes e Eclusas) e 3) Plano de Segurança (PS) da barragem (existência de projeto, documentação e outros).

Similarmente para a obtenção do Dano Potencial Associado (PDA), a pontuação é estabelecida pela consulta do quadro do Anexo II-2, referenciando: a) Volume Total do Reservatório, b) Potencial de perdas de vidas humanas, c) Impacto ambiental e d) Impacto sócio econômico.

Ao final se obtém a pontuação do CRI e do DPA, conforme se apresenta na Tabela 30, classificando ambos os parâmetros Risco e Danos em classes de Alto, Médio e Baixo.

Assim define-se uma matriz tendo-se finalmente o enquadramento da barragem no item IV do Artigo 1º da Lei nº 12.334, ou seja: IV - categoria de dano potencial associado, médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas, conforme definido no art. 6º (sic, na verdade 7º).

Tabela 30 - Quadro para Classificação das Barragens de Acumulação e Água (Anexo II da Resolução CNRH 143/, de 10 de julho de 2012).

NOME DA BARRAGEM:		
NOME DO EMPREENDEDOR:		
DATA:		
II.1 - CATEGORIA DE RISCO	Pontos	
1 Características Técnicas (CT)		
2 Estado de Conservação (EC)		
3 Plano de Segurança de Barragens (PS)		
PONTUAÇÃO TOTAL (CRI) = CT + EC + PS	0	
	CATEGORIA DE RISCO	CRI
FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO	ALTO	> = 60 ou EC* > = 8 (*)
	MÉDIO	35 a 60
	BAIXO	< = 35
(*) Pontuação (maior ou igual a 8) em qualquer coluna de Estado de Conservação (EC) implica automaticamente CATEGORIA DE RISCO ALTA e necessidade de providências imediatas pelo responsável da barragem.		
II.2 - DANO POTENCIAL ASSOCIADO	Pontos	
	DANO POTENCIAL ASSOCIADO (DPA)	
	DANO POTENCIAL ASSOCIADO	DPA
FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO	ALTO	> = 16
	MÉDIO	10 < DPA < 16
	BAIXO	< = 10
RESULTADO FINAL DA AVALIAÇÃO:		
	CATEGORIA DE RISCO	Alto / Médio / Baixo
	DANO POTENCIAL ASSOCIADO	Alto / Médio / Baixo

RESOLUÇÃO ANA Nº 236, DE 30 DE JANEIRO DE 2017

Documento nº 00000.005651/2017-42 Estabelece a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem, das Inspeções de Segurança Regular e Especial, da Revisão Periódica de Segurança de

Barragem e do Plano de Ação de Emergência, conforme art. 8º, 9º, 10, 11 e 12 da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens – PNSB (Tabela 31).

Tabela 31 - Matriz de Classificação (resolução ANA Nº 236, de 30 de Janeiro de 2017).

CATEGORIA DE RISCO	DANO POTENCIAL ASSOCIADO		
	ALTO	MÉDIO	BAIXO
ALTO	A	B	C
MÉDIO	A	C	D
BAIXO	A	D	D

Observa-se nesta Resolução ANA 236, que na matriz de classificação ficou claro quanto ao enquadramento ao item IV e V do Artigo 1º da Lei nº 12.334, combinada com sua alteração (Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010), ou seja, somente exigir o PSB para pequenas barragens, atendidos os demais requisitos, quando o DPA (Dano Potencial Associado) for classificado como médio ou alto ou CRI alto, ou seja as não enquadradas na classe D. Mesmo enquadrada em algum quesito com necessidade de PSB, quando enquadrada na classe D, não há necessidade de se ter o PAE (Plano de Ação de Emergência).

A matéria está sujeita a complementação e suplementação nos diversos órgãos estaduais de controle e fiscalização de barragens de água para fins energéticos ou outros fins ou para resíduos ou rejeitos da mineração, conforme a competência, objetivando adaptar e simplificar para os casos de pequenas barragens, visando diminuir interpretações diversas. Como exemplo tem-se para o estado de São Paulo a portaria do DAEE para a regulamentação de barragens de água, incluindo-se obviamente as para irrigações.

Portaria DAEE nº 1634, de 10 de março de 2021

Aprova os critérios e os procedimentos para a classificação, a implantação e a revisão periódica de segurança de barragens de acumulação de água de domínio do Estado de São Paulo, considerando o disposto na Lei Federal nº 12.334, de 20/09/2010.

Aprova os critérios e os procedimentos para a classificação de barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, exceto para fins de aproveitamento hidroelétrico, localizadas em cursos d'água de domínio do Estado de São Paulo, e dá outras providências relativas ao Plano de Segurança de Barragem, as Revisões Periódicas, ao Plano de Ação Emergencial e as Inspeções de Segurança Regulares e Especiais, considerando o disposto na Lei Federal nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, alterada pela Lei Federal nº 14.066, de 30 de setembro de 2020.

Artigo 1º - Aprovar os critérios e procedimentos para a classificação de barragens de acumulação de água, localizadas em cursos d'água de domínio do Estado de São Paulo, cuja fiscalização é de competência do DAEE.

§ 1º - Estão definidos, na presente Portaria, o conteúdo mínimo, a qualificação dos responsáveis técnicos, a periodicidade de execução e de atualização dos Planos de Segurança de Barragens - PSB, das Revisões Periódicas de Segurança de Barragens - RPSB, do Plano de Ação de Emergência - PAE e das Inspeções de Segurança Regulares - ISR e Especiais - ISE, considerando as estruturas existentes ou a serem construídas, em cursos d'água permanentes ou não;

§ 2º - Não compete ao DAEE a fiscalização de segurança de barragens destinadas: 1. ao aproveitamento de geração hidrelétrica, quando este for o uso preponderante;

2. à disposição final ou temporária de rejeitos minerais;

3. à acumulação de resíduos industriais e;

4. à disposição de rejeitos de minérios nucleares.

Capítulo I Disposições Preliminares Seção I Das Definições Artigo 2º - Para efeito desta Portaria, consideram-se:

I - Barragem – qualquer estrutura em curso d'água de domínio do Estado de São Paulo, permanente ou temporário, para fins de contenção ou acumulação de água, compreendendo o barramento e suas estruturas associadas;

II – Altura do Maciço – medida do encontro do pé do talude de jusante com o nível do solo, no seu ponto mais baixo, até a crista de coroamento do barramento, no seu ponto mais baixo;

III – Reservatório - acumulação não natural de água;

IV – Capacidade Total do Reservatório - volume acumulável até a cota de coroamento da barragem;

V - Segurança de Barragem - condição que visa manter a sua integridade estrutural e operacional e a preservação da vida, da saúde, da propriedade e do meio ambiente;

VI – Empreendedor - pessoa física ou jurídica que detenha outorga, licença, registro, concessão, autorização ou outro ato que lhe confira direito de operação

da barragem e do respectivo reservatório, ou, subsidiariamente, aquele com direito real sobre as terras onde a barragem se localize, se não houver quem os explore oficialmente;

VII - Órgão ou Entidade Fiscalizadora - DAEE, nos termos consignados no “caput” do artigo 1º, desta Portaria;

VIII - Gestão de Risco - ações de caráter normativo, bem como aplicação de medidas para prevenção, controle e mitigação de riscos;

IX - Dano Potencial Associado à Barragem – DPA - dano que pode ocorrer devido a rompimento, vazamento, infiltração no solo ou mau funcionamento de uma barragem, independentemente da sua probabilidade de ocorrência, a ser graduado de acordo com as perdas de vidas humanas e os impactos sociais, econômicos e ambientais;

X - Plano de Segurança da Barragem – PSB - é um instrumento da Política Nacional de Segurança de Barragens - PNSB, de implementação obrigatória pelo empreendedor, cujo objetivo é auxiliá-lo na gestão da segurança da barragem;

XI - Plano de Ação de Emergência – PAE - é um documento formal que, quando couber, deve integrar o PSB, elaborado obrigatoriamente pelo empreendedor, com o objetivo de definir os procedimentos de resposta a situações emergenciais que ameacem as estruturas dos barramentos ou decorrentes de suas rupturas;

XII – Acidente - comprometimento da integridade estrutural, com liberação incontornável do conteúdo de um reservatório, ocasionado pelo colapso parcial ou total da barragem ou estrutura anexa;

XIII – Incidente - qualquer ocorrência que afete o comportamento da barragem ou estrutura anexa que, se não for controlada, pode causar um acidente;

XIV - Área afetada: área a jusante ou a montante, potencialmente comprometida por eventual ruptura da barragem, cujos limites deverão ser definidos e justificados pelo empreendedor;

XV - Categoria de Risco – CRI - classificação da barragem de acordo com os aspectos que possam influenciar na possibilidade de ocorrência de acidente ou desastre;

XVI - Zona de Autossalvamento – ZAS - trecho do vale a jusante da barragem em que não há tempo suficiente para intervenção da autoridade competente em situação de emergência, conforme mapa de inundação;

XVII - Zona de Segurança Secundária – ZSS - trecho constante do mapa de inundação não definido como ZAS;

XVIII - Mapa de Inundação - produto do estudo de inundação que compreende a delimitação geográfica georreferenciada das áreas potencialmente afetadas por eventual vazamento ou ruptura da barragem e seus possíveis cenários associados, e que objetiva facilitar a notificação eficiente e a evacuação de áreas afetadas por essa situação;

XIX – Mapa de Risco Hidrodinâmico - produto das alturas pela velocidade de propagação da onda de inundação, ao longo do seu percurso e no tempo específico em que ocorrem, apresentado por superposição sobre o Mapa de Inundação, com gradação em diferentes cores;

XX – Desastre - resultado de evento adverso, de origem natural ou induzido pela ação humana, sobre ecossistemas e populações vulneráveis, que causa significativos danos humanos, materiais ou ambientais e prejuízos econômicos e sociais;

XXI - Desativação ou descomissionamento de barragem: remoção total ou parcial do barramento, permitindo que o curso d'água retorne à sua condição natural

Capítulo II Da Classificação Seção I Aspectos gerais. Artigo 3º - As barragens fiscalizadas pelo DAEE serão as que apresentam, pelo menos, uma das seguintes características:

I – Altura do maciço maior ou igual a 15 (quinze) metros;

II – Capacidade total do reservatório maior ou igual a 3 000 000 (três milhões) de metros cúbicos;

III – Categoria de Dano Potencial Associado Médio ou Alto, em função do potencial de perda de vidas humanas e dos impactos econômicos, sociais e ambientais decorrentes da ruptura da barragem;

IV – Categoria de Risco Alto, conforme critérios especificados no Anexo I desta Portaria.

Parágrafo Único - As barragens de que trata esta Portaria são classificadas, segundo a Categoria de Risco e de Dano Potencial Associado, em Baixo, Médio e Alto, conforme estabelecido no Anexo I desta Portaria.

Artigo 4º - Serão classificadas como Dano Potencial Associado Baixo, as barragens que:

I - Não se enquadrem nas características definidas no artigo 3º desta Portaria;

II - Não apresentem, a jusante, núcleos urbanos, empreendimentos ou áreas de interesse ambiental relevantes, a uma distância de 2 (duas) vezes o maior comprimento do reservatório formado e não se enquadrem nos incisos I, II e III, do artigo 3º, desta Portaria;

Parágrafo único – As barragens classificadas na categoria de Dano Potencial Associado Baixo, que se enquadrem neste artigo, estão dispensadas de apresentar o Plano de Segurança de Barragem.

SEÇÃO V - Da Matriz de Categoria de Risco e Dano Potencial Associado Artigo 9º– O DAEE classificará as barragens em quatro classes, A, B, C e D, de acordo com a Matriz da Categoria de Risco e Dano Potencial Associado, Quadro 5 do Anexo II (vide Tabela 17);

Parágrafo único – O DAEE poderá atualizar a classificação das barragens a qualquer tempo, em decorrência da alteração de suas características ou da ocupação do vale a jusante.

Observa-se nesta matriz que há uma divergência quanto à classificação em relação à resolução ANA Nº 236, de 30 de janeiro de 2017.

Tabela 32 - Matriz de Categoria de Risco e Dano Potencial Associado (Anexo II da Portaria DAEE nº 1634, de 10 de março de 2021)

Categoria de Risco	Dano Potencial Associado		
	Alto	Médio	Baixo
Alto	A	A	B
Médio	B	B	C
Baixo	C	C	D

6.3.5 Pagamento pelo Uso da Água

O pagamento pelo uso da água está sob a competência dos Comitês de Bacias de Hidrográficas (CBH) de cada localidade nos âmbitos Federal (corpos de água superficial sob domínio da Federação) e estaduais (corpos de água superficial e águas subterrâneas sob o domínio dos estados) conforme a constituição Nacional e as leis pertinentes.

A Lei das Águas já conta com mais de 20 anos, mas não foi a pioneira para o estabelecimento da cobrança pelo uso de água, cabendo ao estado de São Paulo a regulamentação da Legislação em 1991 com a publicação da Lei Estadual nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991, a chamada Lei das Águas Paulista, na qual se baseou a Lei Federal nº 9.433 de 1997.

Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 (Lei das Águas)

Como já visto anteriormente a cobrança pelo uso de recursos hídricos é um dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei das Águas, nº 9.433, 1997),

CAPÍTULO IV - DOS INSTRUMENTOS, Artigo 5º São instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos:

IV - a cobrança pelo uso de recursos hídricos;

SEÇÃO IV - DA COBRANÇA DO USO DE RECURSOS HÍDRICOS, Artigo 19. A cobrança pelo uso de recursos hídricos objetiva:

I - reconhecer a água como bem econômico e dar ao usuário uma indicação de seu real valor;

II - incentivar a racionalização do uso da água;

III - obter recursos financeiros para o financiamento dos programas e intervenções contemplados nos planos de recursos hídricos.

Art. 20. Serão cobrados os usos de recursos hídricos sujeitos à outorga, nos termos do art. 12 desta lei.

Art. 21. Na fixação dos valores a serem cobrados pelo uso dos recursos hídricos devem ser observados, dentre outros:

I - nas derivações, captações e extrações de água, o volume retirado e seu regime de variação;

II - nos lançamentos de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, o volume lançado e seu regime de variação e as características físico-químicas, biológicas e de toxicidade do afluente.

Art. 22. Os valores arrecadados com a cobrança pelo uso de recursos hídricos serão aplicados prioritariamente na bacia hidrográfica em que foram gerados e serão utilizados:

I - no financiamento de estudos, programas, projetos e obras incluídos nos Planos de Recursos Hídricos;

II - no pagamento de despesas de implantação e custeio administrativo dos órgãos e entidades integrantes do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

§ 1º - A aplicação nas despesas previstas no inciso II deste artigo é limitada a sete e meio por cento do total arrecadado.

§ 2º - Os valores previstos no "caput" deste artigo poderão ser aplicados a fundo perdido em projetos e obras que alterem, de modo considerado benéfico à coletividade, a qualidade, a quantidade e o regime de vazão de um corpo de água.

CAPÍTULO III - DOS COMITÊS DE BACIA HIDROGRÁFICA, Artigo 37. Os Comitês de Bacia Hidrográfica terão como área de atuação:

I - a totalidade de uma bacia hidrográfica;

II - sub-bacia hidrográfica de tributário do curso de água principal da bacia, ou de tributário desse tributário; ou

III - grupo de bacias ou sub-bacias hidrográficas contíguas.

Parágrafo único. A instituição de Comitês de Bacia Hidrográfica em rios de domínio da União será efetivada por ato do Presidente da República.

Art. 38. Compete aos Comitês de Bacia Hidrográfica, no âmbito de sua área de atuação:

I - promover o debate das questões relacionadas a recursos hídricos e articular a atuação das entidades intervenientes;

II - arbitrar, em primeira instância administrativa, os conflitos relacionados aos recursos hídricos;

III - aprovar o Plano de Recursos Hídricos da bacia;

IV - acompanhar a execução do Plano de Recursos Hídricos da bacia e sugerir as providências necessárias ao cumprimento de suas metas;

V - propor ao Conselho Nacional e aos Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos as acumulações, derivações, captações e lançamentos de pouca expressão, para efeito de isenção da obrigatoriedade de outorga de direitos de uso de recursos hídricos, de acordo com os domínios destes;

VI - estabelecer os mecanismos de cobrança pelo uso de recursos hídricos e sugerir os valores a serem cobrados;

IX - estabelecer critérios e promover o rateio de custo das obras de uso múltiplo, de interesse comum ou coletivo.

Parágrafo único. Das decisões dos Comitês de Bacia Hidrográfica caberá recurso ao Conselho Nacional ou aos Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos, de acordo com sua esfera de competência.

Art. 39. Os Comitês de Bacia Hidrográfica são compostos por representantes:

I - da União;

II - dos Estados e do Distrito Federal cujos territórios se situem, ainda que parcialmente, em suas respectivas áreas de atuação;

III - dos Municípios situados, no todo ou em parte, em sua área de atuação;

IV - dos usuários das águas de sua área de atuação;

V - das entidades civis de recursos hídricos com atuação comprovada na bacia.

§ 1º - O número de representantes de cada setor mencionado neste artigo, bem como os critérios para sua indicação, serão estabelecidos nos regimentos dos comitês, limitada a representação dos poderes executivos da União, Estados, Distrito Federal e Municípios à metade do total de membros.

Resolução CNRH nº 48, de 21 de março de 2005

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH, no uso das atribuições, estabelece os critérios gerais para a cobrança pelo uso dos recursos hídricos.

CAPÍTULO I - DA FINALIDADE, Artigo 1º Estabelecer critérios gerais para a cobrança pelo uso de recursos hídricos nas bacias hidrográficas. Parágrafo único. Os critérios gerais estabelecidos nesta Resolução deverão ser observados pela União, pelos Estados, pelo Distrito Federal e pelos competentes Comitês de Bacia Hidrográfica na elaboração dos respectivos atos normativos que disciplinem a cobrança pelo uso de recursos hídricos.

CAPÍTULO II DOS OBJETIVOS DA COBRANÇA Artigo 2º A cobrança pelo uso de recursos hídricos tem por objetivo:

I - reconhecer a água como bem público limitado, dotado de valor econômico e dar ao usuário uma indicação de seu real valor;

II - incentivar a racionalização do uso da água e a sua conservação, recuperação e manejo sustentável;

III - obter recursos financeiros para o financiamento de estudos, projetos, programas, obras e intervenções, contemplados nos Planos de Recursos Hídricos, promovendo benefícios diretos e indiretos à sociedade;

IV - estimular o investimento em despoluição, reuso, proteção e conservação, bem como a utilização de tecnologias limpas e poupadoras dos recursos hídricos, de acordo com o enquadramento dos corpos de águas em classes de usos preponderantes; e,

V – induzir e estimular a conservação, o manejo integrado, a proteção e a recuperação dos recursos hídricos, com ênfase para as áreas inundáveis e de recarga dos aquíferos, mananciais e matas ciliares, por meio de compensações e incentivos aos usuários.

CAPÍTULO III DAS CONDIÇÕES PARA A COBRANÇA Artigo 4º Serão cobrados os usos de recursos hídricos sujeitos a outorga, conforme legislação pertinente.

CAPÍTULO IV - DOS MECANISMOS PARA A DEFINIÇÃO DOS VALORES DE COBRANÇA, Artigo 7º Para a fixação dos valores a serem cobrados pelo uso de recursos hídricos deverão ser observados, quando pertinentes, os seguintes aspectos relativos:

I – à derivação, captação e extração:

a) natureza do corpo de água (superficial ou subterrâneo);

b) classe em que estiver enquadrado o corpo de água, no ponto de uso ou da derivação;

c) a disponibilidade hídrica;

d) grau de regularização assegurado por obras hidráulicas;

e) vazão reservada, captada, extraída ou derivada e seu regime de variação;

f) vazão consumida, ou seja, a diferença entre a vazão captada e a devolvida ao corpo de água;

g) finalidade a que se destinam;

h) sazonalidade;

i) características e a vulnerabilidade dos aquíferos;

j) características físicas, químicas e biológicas da água;

- k) localização do usuário na bacia;
- l) práticas de racionalização, conservação, recuperação e manejo do solo e da água;
- m) condições técnicas, econômicas, sociais e ambientais existentes;
- n) sustentabilidade econômica da cobrança por parte dos segmentos usuários;
- o) práticas de reuso hídrico.

II – ao lançamento com o fim de diluição, assimilação, transporte ou disposição final de efluentes:

- a) natureza do corpo de água;
- b) classe em que estiver enquadrado o corpo de água receptor no ponto de lançamento;
- c) a disponibilidade hídrica;
- d) grau de regularização assegurado por obras hidráulicas;
- e) carga de lançamento e seu regime de variação, ponderando-se os parâmetros biológicos, físico-químicos e de toxicidade dos efluentes;
- f) natureza da atividade;
- g) sazonalidade do corpo receptor;
- h) características e a vulnerabilidade das águas de superfície e dos aquíferos;
- i) características físicas, químicas e biológicas do corpo receptor;
- j) localização do usuário na bacia;
- k) práticas de racionalização, conservação, recuperação e manejo do solo e da água;
- l) grau de comprometimento que as características físicas e os constituintes químicos e biológicos dos efluentes podem causar ao corpo receptor;
- m) vazões consideradas indisponíveis em função da diluição dos constituintes químicos e biológicos e da equalização das características físicas dos efluentes;
- n) redução da emissão de efluentes em função de investimentos em despoluição;
- o) atendimento das metas de despoluição programadas nos Planos de Recursos Hídricos pelos Comitês de Bacia;
- p) redução efetiva da contaminação hídrica;
- q) sustentabilidade econômica da cobrança por parte dos segmentos usuários.

III – aos demais tipos de usos ou interferências que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água de um corpo hídrico:

- a) natureza do corpo de água (superficial ou subterrâneo);
- b) classe em que estiver enquadrado o corpo de água, no ponto de uso ou da derivação;
- c) a disponibilidade hídrica;
- d) vazão reservada, captada, extraída ou derivada e seu regime de variação;
- e) alteração que o uso poderá causar em sinergia com a sazonalidade;
- f) características físicas, químicas e biológicas da água;
- g) características e a vulnerabilidade dos aquíferos;
- h) localização do usuário na bacia;
- i) grau de regularização assegurado por obras hidráulicas;
- j) sustentabilidade econômica da cobrança por parte dos segmentos usuários;
- k) finalidade do uso ou interferência.

§ 1º Os Comitês de Bacia Hidrográfica poderão propor diferenciação dos valores a serem cobrados, em função de critérios e parâmetros que abranjam a qualidade

e a quantidade de recursos hídricos, o uso e a localização temporal ou espacial, de acordo com as peculiaridades das respectivas unidades hidrográficas.

§ 2º Os Comitês de Bacia Hidrográfica poderão instituir mecanismos de incentivo e redução do valor a ser cobrado pelo uso dos recursos hídricos, em razão de investimentos voluntários para ações de melhoria da qualidade, da quantidade de água e do regime fluvial, que resultem em sustentabilidade ambiental da bacia e que tenham sido aprovados pelo respectivo Comitê.

§ 3º Os valores cobrados em uma bacia hidrográfica, na ocorrência de eventos hidrológicos críticos e acidentados, poderão ser alterados por sugestão do respectivo Comitê de Bacia Hidrográfica e aprovação pelo respectivo Conselho de Recursos Hídricos, considerando a necessidade de adoção de medidas e ações transitórias não previstas no Plano de Recursos Hídricos.

Artigo 8º O valor e o limite a serem cobrados pelo uso de recursos hídricos deverão estar definidos conforme critérios técnicos e operacionais, acordados nos comitês de bacia hidrográfica e órgãos gestores e aprovados pelo respectivo Conselho de Recursos Hídricos.

Valores cobrados de uso da água

Em 2019 a Ana contabilizou 235 Comitês de Bacias Hidrográficas no Brasil (ANA, 2019), 2,84 bilhões de reais no ano com 167.638 usuários cadastrados.

Nem todas estes Comitês já iniciaram a cobrança de água de um modo geral e bem menos ainda efetuam cobrança pelo uso da água para o meio rural, notadamente a irrigação. Na Figura 123 se resume a situação da cobrança nos diversos Comitês de Bacia Hidrográfica (ANA, 2019a).

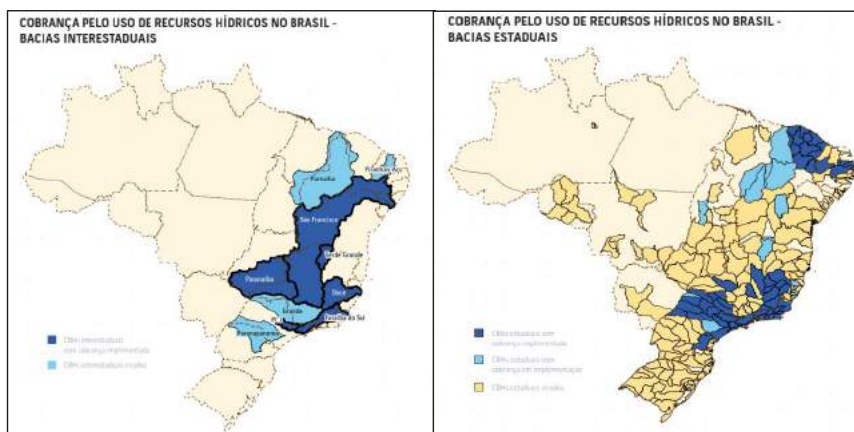


Figura 123 – Mapas da cobrança pelos recursos hídricos da União e dos Estados (Fonte: ANA, 2019a).

Resumidamente, conforme o encarte da ANA (2019a), em águas de domínio da União, a cobrança foi implementada na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, nas Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, na Bacia Hidrográfica do Rio Doce, na Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba e na Bacia Hidrográfica do Rio Verde Grande.

Em relação às cobranças sob o domínio dos estados, apresenta-se a situação levantada pela ANA (2019a):

- Ceará, a cobrança foi implementada em todas as águas de domínio cearense;
- Rio de Janeiro, a cobrança foi implementada em todas as águas de domínio fluminense;
- São Paulo, a cobrança foi implementada em 19 das 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos - UGRHI paulistas;
- Minas Gerais, a cobrança foi implementada em 12 das 36 Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos - UPGRH mineiras.
- Paraná, a cobrança foi implementada somente nas águas de domínio paranaense das bacias hidrográficas do Alto Iguaçu e Afluentes do Alto Ribeira;
- Paraíba, a cobrança foi implementada em todas as águas de domínio Paraibano.
- Demais estados, não foi ainda efetivada a cobrança pelo uso da água de domínio estadual, apesar de existirem em alguns casos, Comitês de Bacias para a gestão da água.

O valor médio cobrado pelo uso de recursos hídricos da União, relacionados na

Tabela 33, corresponde aos preços unitários após aplicação dos coeficientes específicos propostos pelo respectivo CBH. Na coluna “Usos Quantitativos” se considerou a somatória dos valores arrecadados com captação, consumo, transposição e lançamento, dividido pelos volumes de captação ou transposição conforme o caso. Observa-se que a média aritmética dos usos é 0,0115 R\$/m³, chamando a atenção que a cobrança no CBH do Rio Doce tem o valor unitário maior, com 0,0264 R\$/m³, mais que o dobro da média obtida.

Tabela 33 - Valores médios cobrados pelo uso de recursos hídricos de domínio da união, em 2018.

BACIAS HIDROGRÁFICAS	CAPTAÇÃO DE ÁGUA BRUTA	CONSUMO DE ÁGUA BRUTA	TRANSPOSIÇÃO	LANÇAMENTO DE EFLUENTES	USOS QUANTITATIVOS ²
	R\$/m³	R\$/m³	R\$/m³	R\$/KG	R\$/m³
Paraíba do Sul	0,0088	0,0218		0,0784	0,0148
PCJ	0,0102	0,0260	0,0158	0,1308	0,0157
São Francisco	0,0012	0,0011	0,015	0,07	0,0037
Doce	0,0207		0,0319	0,16	0,0264
Paranaíba	0,0078			0,06	0,0078
Verde Grande	0,0003	0,0008		0,07	0,0007

Fonte: ANA, 2019a.

Nos CBHs estaduais há uma grande diversidade de valores unitários de cobrança de captação, consumo e lançamento, porém os valores variando em torno dos índices de cobrança nacional. Cada Comitê tem autonomia em estabelecer os valores da cobrança de água, passando pela aprovação dos respectivos Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos.

Nem todos os Comitês tem formalizado a cobrança pelo uso da água na irrigação, como é o caso do estado de São Paulo que ainda não regulamentou a cobrança para o uso rural. Já nas bacias da União a cobrança de irrigação é normalmente disciplinada, porém como um viés menor em relação aos demais usos, por conta de coeficientes de eficiência de uso de água. Na Figura 124 se apresenta uma comparação dos preços médios praticados nos Comitês da União.

Nota-se que o valor unitário cobrado no setor “agropecuário” é na maioria dos casos, significativamente menor que os cobrados no “saneamento” e na “indústria”, excetuando-se o PCJ, porém ainda aproximadamente 50% menor que os demais setores. No caso do CBH Federal do PCJ, onde as captações nos rios sob o domínio Federal: Piracicaba, Atibaia Jaguari e Camanducaia, a captação para a irrigação é cobrada, tendo-se um critério específico para a irrigação.

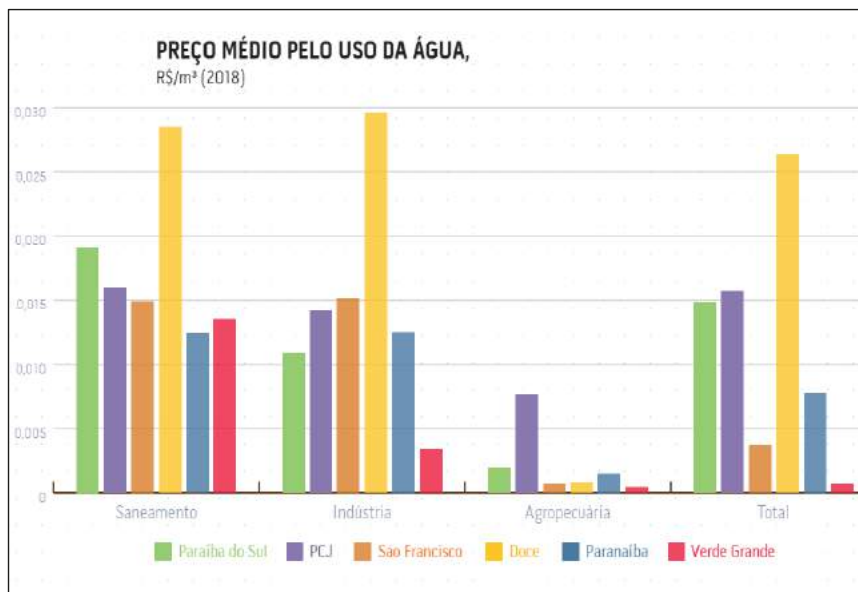


Figura 124 – Comparação do preço médio da cobrança pelos recursos hídricos da União (Fonte: ANA, 2019a).

Assim a fórmula de cobrança para a irrigação no PCJ-Federal é norteadas no Anexo: Mecanismos de Cobrança pelo Uso dos Recursos Hídricos nos Corpos d'Água de Domínio da União, nas Bacias PCJ, Deliberação Conjunta dos Comitês PCJ no 078/07, de 05/10/2007, sendo conforme o conjunto de Equações:

$$Valor_{Rural} = (Valor_{cap} + Valor_{cons}) \times Kt$$

$$Valor_{cons} = (Q_{cons\ irrig} + PUB_{cons})$$

$$Q_{cons\ irri} = (Q_{cap}) \times K_{consumo}$$

Onde:

$Valor_{Rural}$, pagamento total anual pela captação e pelo consumo de água para usuários do setor Rural;

$Valor_{cap}$, pagamento anual pela captação de água, calculado conforme metodologia definida no art. 2º do Anexo citado;

$Valor_{cons}$, pagamento anual pelo consumo de água, calculado conforme metodologias definidas nos artigos 3º e 4º deste Anexo, conforme o tipo de uso;

PUBcons, Preço Unitário Básico para o consumo de água;

Qcap, volume anual de água captado, conforme definido no anexo citado;

Qcons irrig, volume anual de água consumida, conforme definido no anexo citado;

Kconsumo, coeficiente que visa, no caso da irrigação, quantificar o volume de água consumido, considerado com base nos valores de eficiência de referência estabelecidos na Resolução ANA nº 707. conforme dado na Tabela 34, observando-se que na ausência da informação do Sistema de Irrigação, será adotado o valor de *Kconsumo* igual a 0,5 (cinco décimos);

Kt, coeficiente que leva em conta as boas práticas de uso e conservação da água no imóvel rural onde se dá o uso de recursos hídricos, conforme a Tabela 35. Na ausência da informação do Sistema de Irrigação, será adotado o valor de *Kt* igual a 0,5 (cinco décimos) e para os usuários de recursos hídricos que não se enquadram dentre os irrigantes, o valor do *Kt* será igual a 0,1 (um décimo).

Tabela 34 - Valores do *Kconsumo*.

Sistema de Irrigação	<i>Kconsumo</i>
gotejamento	0,95
micro aspersão	0,90
pivô central	0,85
tubos perfurados	0,85
aspersão convencional	0,75
sulcos	0,60
inundação	0,50

Tabela 35 - Valores do *Kt*.

Sistema de Irrigação	<i>Kt</i>
gotejamento	0,05
micro aspersão	0,10
pivô central	0,15
tubos perfurados	0,15
aspersão convencional	0,25
sulcos	0,40
inundação	0,50

Desta forma a cobrança dos recursos hídricos para a irrigação variará conforme o Comitê e a tecnologia empregada, podendo-se estimar no caso do PCJ, com os PUBs praticados em 2020, de captação de R\$0,0127/m³ e de consumo igual à R\$0,0255/m³, o valor unitário de R\$ 0,0018145/m³ no caso de irrigação por gotejamento, contra R\$ 0,0079563/m³ no caso de aspersão convencional ou seja penalizando em cerca de 4 vezes o preço do m³ de água captada para irrigação com a tecnologia de aspersão convencional.

6.3.6 Código Florestal

Conhecida como o novo "**Código Florestal**", a Lei 12.651 de 25 de maio de 2012, determina normas sobre a Proteção da Vegetação Nativa em geral, incluindo Áreas de Preservação Permanente (APP), de Reserva Legal (RL) e de Uso Restrito (UR); a exploração florestal, o fornecimento de matéria-prima florestal, o controle da origem dos produtos florestais, o controle e prevenção dos incêndios florestais, e a previsão de instrumentos econômicos e financeiros para o alcance de seus objetivos.

O principal aspecto quanto à irrigação é a questão de barramento para armazenar água de chuva para projetos de irrigação, uma vez que implicitamente haverá necessidade de intervenção/supressão de APPs, devido às inundações de áreas para o acúmulo da água de chuva para irrigação em alguns casos.

Segundo o Novo Código Florestal, a intervenção ou a supressão de vegetação nativa em Área de Preservação Permanente somente ocorrerá nas hipóteses de utilidade pública, de interesse social ou de baixo impacto ambiental (artigo 8º). Há ressalva para os casos de represamentos para produção energética e abastecimento público, devendo-se estabelecer áreas de servidão para restabelecer as APPS (artigo 5º, Redação dada pela Lei nº 12.727, de 2012).

A atualização do Código Florestal, era aguardada com grande expectativa para dar um novo rumo para a agricultura irrigada no Brasil, com as alterações na limitação de intervenção nas áreas protegidas, as APPs. Em razão de sua função ambiental, as APPs são de utilização muito restrita. Não são intocáveis, mas somente pode haver intervenção no caso de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental, desde que sejam mitigados e/ou compensados os danos ambientais que possam existir, conforme Lei Federal 12.651/2012 (Novo Código Florestal).

Porém os barramentos de água com fins de irrigação não foram enquadrados em nenhuma destas três categorias no novo código florestal, o que

gerou um imbróglgio em um aspecto fundamental para a irrigação, o armazenamento de água de chuva, pois como armazenar água de chuva sem barramento e como implantar barramento sem intervenção nas APPs, naturalmente com a devida compensação.

Em princípio há duas saídas para a questão. A primeira é uma interpretação de que o barramento faz parte da instalação necessária para a captação de água para a irrigação e assim estaria contemplado como “Interesse Social” (Artigo 3º item IX-e), que reza: “implantação de instalações necessárias à captação e condução de água e de efluentes tratados para projetos cujos recursos hídricos são partes integrantes e essenciais da atividade” (sic), podendo-se estender também como “atividades eventuais ou de baixo impacto ambiental” (Artigo 3º item X-b), que vai na mesma linha.

Este entendimento pode ser reforçado pelas legislações estaduais dando maior suporte à questão de implantação de barramentos com supressão às APPs, como por exemplo no estado de Minas Gerais, com a Lei 20.922/2013, que em seu artigo 3º item II – g, considera como atividade de interesse social a: “a implantação da infraestrutura necessária à acumulação e à condução de água para a atividade de irrigação e à regularização de vazão para fins de perenização de curso d’água, sic.

A outra linha é seguir o Código Florestal quanto a possibilidade de se declarar a atividade de irrigação em alguns caso como de baixo impacto pelo CONAMA, conforme reza o artigo 3º item III-k): “outras ações ou atividades similares, reconhecidas como eventuais e de baixo impacto ambiental em ato do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA ou dos Conselhos Estaduais de Meio Ambiente”, (sic).

Isto é corroborado com o disposto na Lei Federal 12.787/13 que estabelece a Política Nacional de Irrigação, e em seu artigo 22, parágrafo 2º, determina que as obras de infraestrutura de irrigação, inclusive os barramentos de cursos d’água que provoquem intervenção ou supressão de vegetação em área de preservação permanente, poderão ser consideradas de utilidade pública para efeito de licenciamento ambiental, quando declaradas pelo poder público federal, essenciais para o desenvolvimento social e econômico.

Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012 (Novo Código Florestal)

Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, estabelecendo:

Artigo 1º-A. Esta Lei estabelece normas gerais sobre a proteção da vegetação, áreas de Preservação Permanente e as áreas de Reserva Legal; a exploração florestal, o suprimento de matéria-prima florestal, o controle da origem dos produtos florestais e o controle e prevenção dos incêndios florestais, e prevê instrumentos econômicos e financeiros para o alcance de seus objetivos.

Artigo 3º Para os efeitos desta Lei, entende-se por:

II - Área de Preservação Permanente - APP: área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas;

VIII - utilidade pública:

IX - interesse social:

e) implantação de instalações necessárias à captação e condução de água e de efluentes tratados para projetos cujos recursos hídricos são partes integrantes e essenciais da atividade;

X - atividades eventuais ou de baixo impacto ambiental:

b) implantação de instalações necessárias à captação e condução de água e efluentes tratados, desde que comprovada a outorga do direito de uso da água, quando couber;

k) outras ações ou atividades similares, reconhecidas como eventuais e de baixo impacto ambiental em ato do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA ou dos Conselhos Estaduais de Meio Ambiente;

Art. 5º Na implantação de reservatório d'água artificial destinado a geração de energia ou abastecimento público, é obrigatória a aquisição, desapropriação ou instituição de servidão administrativa pelo empreendedor das Áreas de Preservação Permanente criadas em seu entorno, conforme estabelecido no licenciamento ambiental, observando-se a faixa mínima de 30 (trinta) metros e máxima de 100 (cem) metros em área rural, e a faixa mínima de 15 (quinze) metros e máxima de 30 (trinta) metros em área urbana (Redação dada pela Lei nº 12.727, de 2012).

Artigo 8º A intervenção ou a supressão de vegetação nativa em Área de Preservação Permanente somente ocorrerá nas hipóteses de utilidade pública, de interesse social ou de baixo impacto ambiental previstas nesta Lei.

6.3.7 Reúso de Água para Irrigação

No mundo, a irrigação responde por 69% das captações de água (FAO, 2019), enquanto que no Brasil este percentual é menor. Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 2019), a retirada total de água estimada em 2018 foi de 2.048 m³/s. O principal uso de água no país, em termos de quantidade utilizada, foi a irrigação (49,8%), seguida pelo abastecimento humano (24,4%) e pela indústria (9,6%) e outras utilizações (15%). A demanda por uso de água no Brasil é crescente, com aumento estimado de aproximadamente 80% no total retirado nas últimas duas décadas. A previsão é de que até 2030 a retirada aumente em 24%. A evolução dos usos da água

está diretamente relacionada ao desenvolvimento econômico e ao processo de urbanização do País o que certamente refletirá na necessidade crescente da irrigação.

Uma forma de amenizar esta demanda é a racionalização do uso da água e sem dúvida promover o reúso de água. A irrigação tem muito a se beneficiar da água de reúso trazendo mais sustentabilidade no uso dos recursos hídricos. O setor canavieiro já é um grande usuário de água de reúso para a irrigação e fertirrigação no uso das águas residuárias da indústria sucroenergética.

O chamado Reuso Direto Planejado das Águas, ocorre quando os efluentes, após tratados, são encaminhados diretamente ao local do reúso, não sendo descarregados no meio ambiente, diferentemente do Reuso Indireto, que nada mais é que o lançamento de efluentes em cursos de água com outros usos de jusante, cabendo a natureza a incumbência do tratamento da água, o que nem sempre ocorre de acordo como a necessidade.

O Reúso Indireto é mais utilizado na indústria e na irrigação. As aplicações da água de reúso para a irrigação, de uma maneira geral, são: irrigação paisagística (parques, cemitérios, campos de golfe, faixas de domínio de autoestradas, campus universitários, cinturões verdes, gramados residenciais); e irrigação de campos para cultivos (plantio de forrageiras, plantas fibrosas e de grãos, plantas alimentícias, viveiros de plantas ornamentais, proteção contra geadas).

Pouco há sobre a legislação de água de reúso, sendo a Resolução n° 54 de 2005 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) umas das normas pioneiras neste sentido.

Resolução CNRH n° 54. de 28 de novembro de 2005

Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências e que considerando entre outros: que a diretriz adotada pela Organização das Nações Unidas-ONU, segundo a qual, a não ser que haja grande disponibilidade, nenhuma água de boa qualidade deverá ser utilizada em atividades que tolerem águas de qualidade inferior; o reúso de água se constitui em prática de racionalização e de conservação de recursos hídricos, conforme princípios estabelecidos na Agenda 21, podendo tal prática ser utilizada como instrumento para regular a oferta e a demanda de recursos hídricos; a escassez de recursos hídricos observada em certas regiões do território nacional, a qual está relacionada aos aspectos de quantidade e de qualidade; a prática de reúso de água

reduz a descarga de poluentes em corpos receptores, conservando os recursos hídricos para o abastecimento público e outros usos mais exigentes quanto à qualidade; e que a prática de reúso de água reduz os custos associados à poluição e contribui para a proteção do meio ambiente e da saúde pública, resolve:

Artigo 2º Para efeito desta Resolução, são adotadas as seguintes definições:

I - água residuária: esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratados ou não;

II - reúso de água: utilização de água residuária;

III - água de reúso: água residuária, que se encontra dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas;

IV - reúso direto de água: uso planejado de água de reúso, conduzida ao local de utilização, sem lançamento ou diluição prévia em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos;

V - produtor de água de reúso: pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, que produz água de reúso;

VI - distribuidor de água de reúso: pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, que distribui água de reúso; e

VII - usuário de água de reúso: pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, que utiliza água de reúso.

Artigo 3º O reúso direto não potável de água, para efeito desta Resolução, abrange as seguintes modalidades:

I - reúso para fins urbanos: utilização de água de reúso para fins de irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações, combate a incêndio, dentro da área urbana;

II - reúso para fins agrícolas e florestais: aplicação de água de reúso para produção agrícola e cultivo de florestas plantadas; I

II - reúso para fins ambientais: utilização de água de reúso para implantação de projetos de recuperação do meio ambiente;

IV - reúso para fins industriais: utilização de água de reúso em processos, atividades e operações industriais; e,

V - reúso na aquicultura: utilização de água de reúso para a criação de animais ou cultivo de vegetais aquáticos.

Artigo 5º Caso a atividade de reúso implique alteração das condições das outorgas vigentes, o outorgado deverá solicitar à autoridade competente retificação da outorga de direito de uso de recursos hídricos de modo a compatibilizá-la com estas alterações.

6.3.8 Enquadramento e Classificação dos corpos de água

O enquadramento do corpo de água na sua classificação de qualidade é mais um dos instrumentos de gestão dos recursos hídricos, conforme é previsto na Lei nº 9.433/1997 (Lei das Águas), no Artigo 5º inciso II - o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água e um desses usos é a irrigação no tocante às águas doces e salobras. Os corpos de água superficiais são

enquadrados conforme sua dominialidade federal ou estadual, cabendo aos Comitês de Bacia Hidrográficas propor o reenquadramento. De uma forma geral os rios federais foram enquadrados na Classe 2 no caso de água doce e Classe 1 no caso de águas salinas e salobra, enquanto não houver um reenquadramento específico para cada caso, que deve seguir o disposto na Resolução CNRH nº 91/2008. Até 2018, 13 Unidades da Federação possuíam atos normativos que enquadram total ou parcialmente seus corpos d'água (ANA, 2019).

Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005

Alterada pela Resolução 410/2009 e pela 430/2011, dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

Artigo 1º Esta Resolução dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de água superficiais, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.

Artigo 2º Para efeito desta Resolução são adotadas as seguintes definições:

I - águas doces: águas com salinidade igual ou inferior a 0,5 ‰;

II - águas salobras: águas com salinidade superior a 0,5 ‰ e inferior a 30 ‰;

III - águas salinas: águas com salinidade igual ou superior a 30 ‰;

Artigo 3º As águas doces, salobras e salinas do Território Nacional são classificadas, segundo a qualidade requerida para os seus usos preponderantes, em treze classes de qualidade.

Parágrafo único. As águas de melhor qualidade podem ser aproveitadas em uso menos exigente, desde que este não prejudique a qualidade da água, atendidos outros requisitos pertinentes.

Seção I - Das Águas Doces. Artigo 4º As águas doces são classificadas em:

I - classe especial: águas destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção;
- b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e,
- c) à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.

II - classe 1: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000;
- d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e
- e) à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.

III - classe 2: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;

- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA no 274, de 2000;
- d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e
- e) à aquicultura e à atividade de pesca.

IV - classe 3: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;
- b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;
- c) à pesca amadora;
- d) à recreação de contato secundário; e
- e) à dessedentação de animais.

V - classe 4: águas que podem ser destinadas:

- a) à navegação; e
- b) à harmonia paisagística.

Seção II Das Águas Salobras, Artigo 6º As águas salobras são assim classificadas:

I - classe especial: águas destinadas:

- a) à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral; e,
- b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.

II - classe 1: águas que podem ser destinadas:

- a) à recreação de contato primário, conforme Resolução CONAMA no 274, de 2000;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à aquicultura e à atividade de pesca;
- d) ao abastecimento para consumo humano após tratamento convencional ou avançado; e
- e) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película, e à irrigação de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto.

III - classe 2: águas que podem ser destinadas:

- a) à pesca amadora; e
- b) à recreação de contato secundário.

IV - classe 3: águas que podem ser destinadas:

- a) à navegação; e
- b) à harmonia paisagística.

CAPÍTULO III - DAS CONDIÇÕES E PADRÕES DE QUALIDADE DAS ÁGUAS
Seção I. Das Disposições Gerais. Artigo 7º Os padrões de qualidade das águas determinados nesta Resolução estabelecem limites individuais para cada substância em cada classe.

Parágrafo único. Eventuais interações entre substâncias, especificadas ou não nesta Resolução, não poderão conferir às águas características capazes de causar efeitos letais ou alteração de comportamento, reprodução ou fisiologia da vida, bem como de restringir os usos preponderantes previstos.

CAPÍTULO VI - DISPOSIÇÕES FINAIS E TRANSITÓRIAS. Artigo 42 Enquanto não aprovados os respectivos enquadramentos, as águas doces serão consideradas classe 2, as salinas e salobras classe 1, exceto se as condições de qualidade atuais forem melhores, o que determinará a aplicação da classe mais rigorosa correspondente.

Resolução CNRH nº 91, de 05 de novembro de 2008.

Dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos.

Artigo 1º Estabelecer procedimentos gerais para o enquadramento de corpos de água superficiais e subterrâneos.

Artigo 2º O enquadramento dos corpos de água se dá por meio do estabelecimento de classes de qualidade conforme disposto nas Resoluções CONAMA nos 357, de 2005 e 396, de 2008, tendo como referências básicas:

I - a bacia hidrográfica como unidade de gestão; e

II - os usos preponderantes mais restritivos.

§1º O enquadramento de corpos de água corresponde ao estabelecimento de objetivos de qualidade a serem alcançados através de metas progressivas intermediárias e final de qualidade de água.

6.4 Considerações da Legislação da Irrigação e seus Desafios

Sem dúvida a irrigação é ponto chave na segurança alimentar e é fortemente dependente da segurança hídrica, sem mencionar ainda a dependência da segurança energética, fortemente calcada no Brasil pela hidroeletricidade. Como compatibilizar estes aspectos, uma vez que é de vital sobrevivência da sociedade moderna a garantia da água e da produção de alimentos. Naturalmente estas questões devem ser balizadas pelo equilíbrio nas questões ambientais, uma vez que a atividade de irrigação é como visto, impactante nos recursos hídricos e por outro lado é um grande indutor na produção agrícola, com menor uso do solo, ou seja no aumento da produtividade de alimentos, fibras e culturas energéticas como a cana-de-açúcar.

Neste capítulo procurou-se pontuar a legislação de irrigação, que se mostrou fortemente centrada na proteção dos recursos hídricos e meio ambiente, retomando-se algumas discussões básicas. Percebe-se pelo arcabouço legal relacionado neste capítulo, que pouco há sobre reais incentivos à irrigação e sim uma grande preocupação com o meio ambiente e utilização dos recursos hídricos. Embora em sua maioria pertinente, pois é necessário mitigar os impactos negativos da atividade de irrigação, voltado principalmente à escassez dos recursos hídricos e da manutenção da sua qualidade, promovendo se assim a sustentabilidade ambiental e

os usos múltiplos da água, há um entendimento geral no setor de alguns entraves da legislação ambiental ao pleno desenvolvimento da irrigação.

Sobressai por exemplo o fato de não se incentivar adequadamente projetos de armazenamento da água de chuva em barramento para irrigação, quando há supressão e intervenção em APPs, mesmo que devidamente compensadas, por conta da atividade não ser considerada de utilidade pública ou de interesse social ou de baixo impacto ambiental, conforme previsto no Novo Código Ambiental (artigo 8º, da Lei Federal 12.651/2012), a exemplo de represamentos para abastecimento público e para a produção energética. No caso de pequenos barramentos com menos de 15 metros de altura, que atende a grande maioria de projetos de irrigação, deveria ser automaticamente enquadrado como de baixo impacto para efeito de licenciamento ambiental.

Como já observado, a Política Nacional de Irrigação (Lei nº 12.787, de 11 de janeiro de 2013), buscando a sustentabilidade da irrigação, indica a necessidade de licenciamento ambiental para os projetos de irrigação (artigo 22), observando-se no parágrafo 2º a possibilidade de declaração de utilidade pública de barramentos quando houver intervenção ou supressão de APPs com fins de irrigação, somente se declarado pelo poder público federal, ou seja, não é automático como no caso de abastecimento público ou fins energéticos.

Em suma, os barramentos de água com fins de irrigação não foram enquadrados em nenhuma destas três categorias no novo código florestal, o que gerou um “imbróglio” e grande limitação de um aspecto fundamental para a irrigação, que é o armazenamento de água de chuva, pois como armazenar água de chuva sem barramento e como implantar barramento sem intervenção nas APPs, naturalmente com a devida compensação. Ressalta-se nesse contexto que o Brasil, sendo um país tropical, apresenta altas precipitações pluviométricas na maior parte de seu território, e se essa água não for armazenada em barramentos o seu destino será o oceano, implicando em grande desperdício para a segurança hídrica.

Conforme considerado por Schmidt (2007), o incentivo, mediante linhas de crédito especiais, à construção de barragens reguladoras de vazão, permitiria aumentar o tempo de infiltração, reabastecendo aquíferos assim como o armazenamento de um volume significativo de água durante o período chuvoso (que de outro modo fluiria para o mar) a ser utilizado não apenas pela agricultura, mas em

seu caráter primário de múltiplo uso, favorecendo a sustentabilidade de toda a comunidade dependente desse recurso hídrico.

De um modo geral, tanto pelo aspecto de legislação ou mesmo na gestão pública pode se observar os seguintes desafios para o pleno incentivo ao desenvolvimento da irrigação:

- 1) Embora a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 (Lei das Águas) considera no inciso IV, incentivar e promover a captação, a preservação e o aproveitamento de águas pluviais, não há na prática nenhum incentivo neste sentido, mesmo para pequenas barragens com menos de 15 metros de altura, que poderiam ter um licenciamento ambiental mais simplificado, visando justamente o armazenamento da água de chuva para fins de irrigação e eventualmente outros usos no período da seca.
- 2) Em relação aos Projetos Agropecuários com mais de 1000 ha, que estão sujeitos a EIA/Rima (conforme a Resolução CONAMA nº 1), deve-se destacar algumas interpretações equivocadas de órgãos ambientais, sobre a exigência de EIA/Rima, para as áreas já com culturas estabelecidas, em que se pretende uma implementação ou ampliação de projetos de irrigação. Isto certamente traz entraves para a disseminação da irrigação para o aumento de produtividade em áreas cultivadas já existentes, o que não poderia ocorrer, tendo em vista os benefícios no melhor uso de solo para a produtividade agrícola.
- 3) Outro ponto da legislação é a falta de uniformidade para os critérios de outorga de um modo geral, conforme foi apresentado na Tabela 8 deste capítulo, que se reflete nas outorgas para a irrigação, com alguns estados adotando critérios mais severos nas vazões de referência, independentemente de situação de criticidade de bacias, o que deveria ser levado em conta. De qualquer forma seria interessante adotar uma vazão de referência mais abrangente como a proposta pela ANA, isto é, Q 95%, e somente em situações de crise hídrica ou de criticidade de bacias hidrográficas, ter-se parâmetros mais restritivos para a captação de água. Neste sentido a construção de pequenos barramentos para irrigação certamente devem ser incentivados pois aumentam a oferta hídrica superficial e subterrânea na bacia.

- 4) Em relação a PNSB, Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, há uma generalização nos órgãos de controle ambiental em relação aos enquadramentos dos barramentos à esta legislação, mesmo para condições flagrantes de não aderência à Lei 12.334, caso de pequenas barragens de irrigação, o que vem trazendo dificuldades para a instalação e ampliação de novos projetos de irrigação. A matéria é muito complexa principalmente para atender a classificação quanto ao DPA (Danos de Potencial Associados) e ao CRI (Categoria de Risco), devido a um intrincado sistema de pontuação, mesmo com as regulamentações do CNRH e da ANA, observando-se divergências com regulamentações estaduais no tocante ao estabelecimento da matriz de classificação. A matéria deveria ser simplificada para o caso de pequenas barragens, a exemplo de alguns estados, como o de São Paulo (Portaria DAEE nº 3907, de 15 de dezembro de 2015) que desenquadram pequenas barragens quando o DPA for baixo, considerando o distanciamento a jusante de núcleos urbanos, empreendimentos ou áreas de interesse ambiental relevantes, a uma distância de 2 (duas) vezes o comprimento do reservatório formado. Além disto a matéria deveria ser complementada com cartilhas para irrigante ou mesmo com preenchimento simplificado “online”, para uma fácil verificação da necessidade de enquadramento ao PNSB para pequenas barragens, papel que deveria ser desempenhado pelos agentes públicos e também por entidades representativas.
- 5) Quanto à captação de água para irrigação, mesmo com oferta hídrica que possibilita a outorga, há dificuldade de entendimento nos órgãos ambientais do baixo impacto que os equipamentos de captação de água para irrigação, quando a fio d’água, com a instalação de bombas, tubulações, canais, poços de sucção, mesmo que as intervenções de APP sejam compensadas adequadamente, conforme se prevê nas legislações locais pertinentes.

Em resumo, o acesso à água deve ser o mais simplificado possível para o pleno desenvolvimento da irrigação no Brasil, com captação a fio d’água e mesmo com as pequenas barragens, pois além dos óbvios benefícios sócios econômicos da atividade, trazem outros benefícios ambientais principalmente no tocante ao

aproveitamento da água de chuva. Dificilmente o Brasil atingirá as metas de irrigação preconizadas no Atlas de Irrigação (ANA, 2021), em se atingir mais 4,9 milhões de hectares de áreas irrigadas nos próximos 20 anos, ou seja um aumento de 79% na área atualmente irrigada com água dos mananciais, sem a adequada compatibilidade com a legislação ambiental e de recursos hídricos, como está previsto na Política Nacional de Irrigação (Lei nº 12.787, de 11 de janeiro de 2013), cujo um dos objetivos (Art. 4º - I) é: incentivar a ampliação da área irrigada e o aumento da produtividade em bases ambientalmente sustentáveis.

CAPÍTULO 7 – CASOS DE SUCESSO DE IRRIGAÇÃO

7.1 Gotejamento mais antigo do país

Redator: Daniel Botelho Pedrosa

Esse é o projeto de irrigação por gotejamento mais antigo em operação do país. Atualmente ele está com uma média de 88 t/ha em 20 cortes, contra a média da região que é de 55 t/ha em apenas 5 anos. Fundada em 12 de abril de 1973, durante a expansão canavieira no Brasil, a Usina Seresta surgiu da união de dois grandes empresários alagoanos: o senador Teotônio Vilela, da Usina Boa Sorte, localizada em Viçosa - AL, e Geraldo Gomes de Barros, da Usina Santa Amália, de União dos Palmares - AL.

Desta aliança entre duas famílias, que permanece até hoje, surgiu na cidade de Teotônio Vilela uma das mais destacadas usinas de Alagoas, com um quadro fixo de mais de 700 colaboradores e com capacidade produtiva de 1.450.000 toneladas por safra.

Além disso, a Usina Seresta é hoje uma das empresas alagoanas que mais investe em ações socioambientais e em tecnologia, projetando grandes conquistas e excelentes resultados.

A Tabela 36 fornece detalhes do cliente e a Tabela 37, da solução. O resultado final está ilustrado nas Figura 125 a Figura 127.

Tabela 36 – Detalhes do Cliente.

DETALHES DO CLIENTE	
Cliente:	Usina Reunida Seresta - Fazenda Daniele
Data de implementação:	1996
Cultura:	cana-de-açúcar
Local:	Teotônio Vilela - AL
Área Total Irrigada:	17 ha (projeto piloto)
Sistema de irrigação:	Gotejamento subterrâneo
Índice Pluviométrico:	1.400 mm



Figura 125 – Teotônio Vilela – AL (Foto: Daniel Pedroso – Netafim).



Figura 126 – Teotônio Vilela – AL (Foto: Daniel Pedroso – Netafim).

Tabela 37 – Detalhes da Solução.

DETALHES DA SOLUÇÃO	
Gotejador:	Super Thyphoon
Vazão do Gotejador:	1 L/h
Espaçamento entre gotejadores:	0,4 m
Espaçamento entre tubos gotejadores:	2,0 m
Taxa de aplicação:	1,25 mm/h
Lâmina do projeto:	6,0 mm/dia

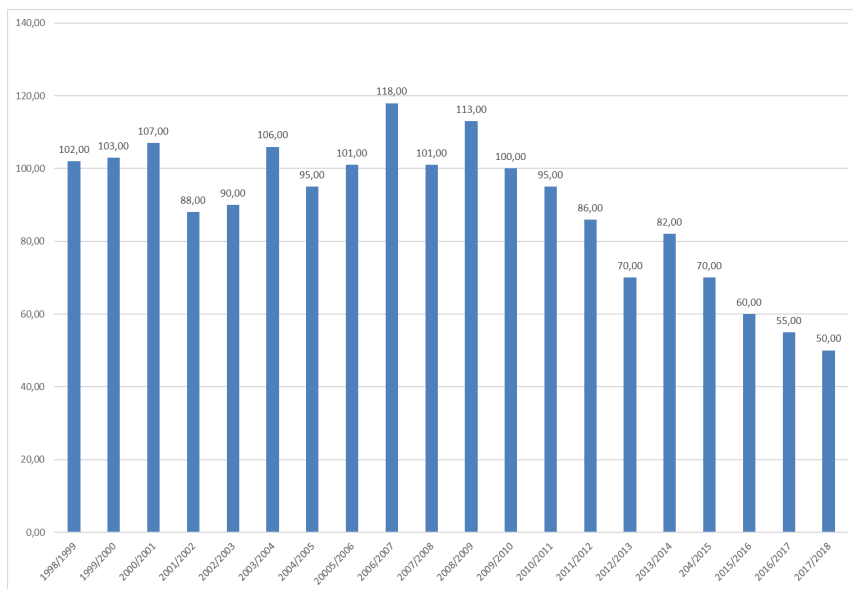


Figura 127 – Resultado de TCH por safra – variedade SP 79 1011.

7.2 Gotejamento subterrâneo em solo argiloso

Redator: Daniel Botelho Pedrosa

Este é um projeto que está entre os mais antigos do país, o projeto Solange conta está atualmente no décimo corte com uma produtividade média de 112,00 toneladas por hectare.

A Usina Coruripe foi fundada no início do século 20, em 12 de fevereiro de 1925, a partir da união de diversos engenhos, que já expressavam àquela época a vocação canavieira do município de Coruripe, a 120 quilômetros de Maceió, Alagoas.

Em janeiro de 1941, o empreendedor Tércio Wanderley adquiriu o controle acionário da empresa. Anos de muito trabalho e dedicação transformaram a pequena usina em um dos maiores grupos produtores de açúcar, álcool e energia do Brasil. Ampliação das fronteiras para Minas Gerais, a partir da aquisição da Destilaria Alexandre Balbo, no município de Iturama, na região do Triângulo Mineiro. E recebeu o título de bicampeã 2016 de produtividade de TCH (tonelada de cana por hectare). Superação dos 14 milhões de toneladas de cana moídas.

Enquanto o projeto Nogueira que possui 18 anos, performou durante 12 anos com uma produtividade de 84,75 t/ha. utilizando uma variedade não responsiva como a RB 72 1011, após esse período foram trocados apenas os tubos gotejadores (toda a parte de filtragem, motobomba e malha hidráulica são as mesmas) e a variedade (RB 92 579). Após essa reforma o projeto já está no sexto corte com uma produtividade média de 151 t/ha.

A Tabela 38 fornece detalhes do cliente e a Tabela 39, da solução. O resultado final está ilustrado nas Figura 128 a Figura 132.

Tabela 38 – Detalhes do Cliente.

DETALHES DO CLIENTE	
Cliente:	Usina Coruripe, filial Iturama
Data de implementação:	Projeto Solange em 2007 e Projeto Nogueira 2000
Cultura:	cana-de-açúcar
Local:	Iturama - MG
Área Total Irrigada:	Projeto Solange 117 ha e Projeto Nogueira 81 ha.
Sistema de irrigação:	Gotejamento subterrâneo
Tipo de solo:	Franco argiloso

Tabela 39 – Detalhes da Solução.

DETALHES DA SOLUÇÃO	
Gotejador:	Drip Net PC AS - 16150
Vazão do Gotejador:	1 L/h
Espaçamento entre gotejadores:	0,50 m
Espaçamento entre tubos gotejadores:	1,9 m (1,5 x 0,40 m)
Taxa de aplicação:	1,05 mm/h
Lâmina do projeto:	3,8 mm/dia



Figura 128 – Iturama – MG (Foto: Daniel Pedroso – Netafim).



Figura 129 – Iturama – MG (Foto: Daniel Pedroso – Netafim).

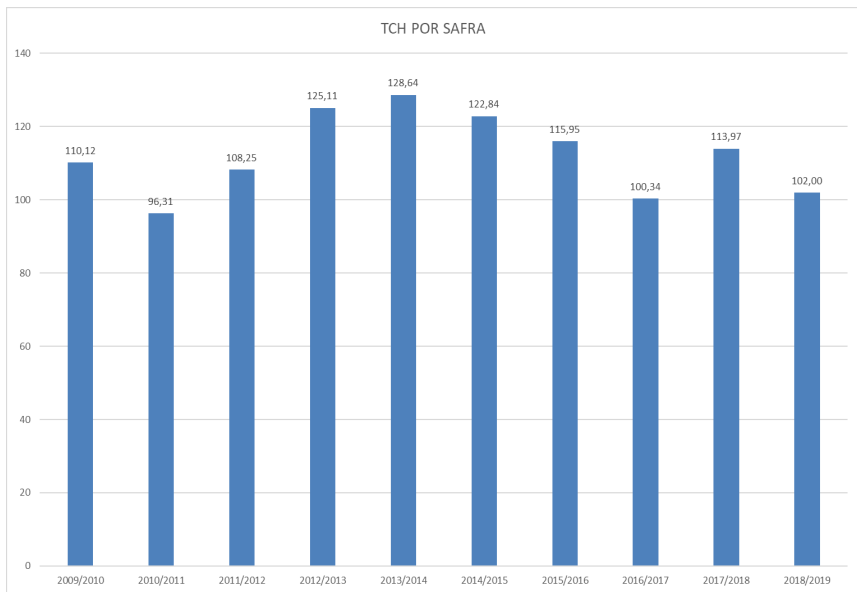


Figura 130 – Resultado de TCH por safra no projeto Solange – RB 85 5453.

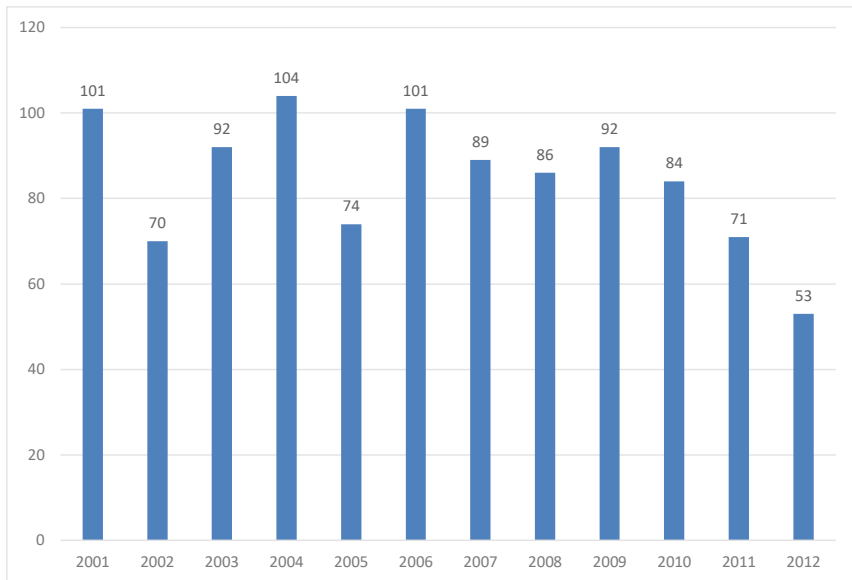


Figura 131 – Resultado de TCH por safra no projeto Nogueira antes da reforma – variedade SP 79 1011.

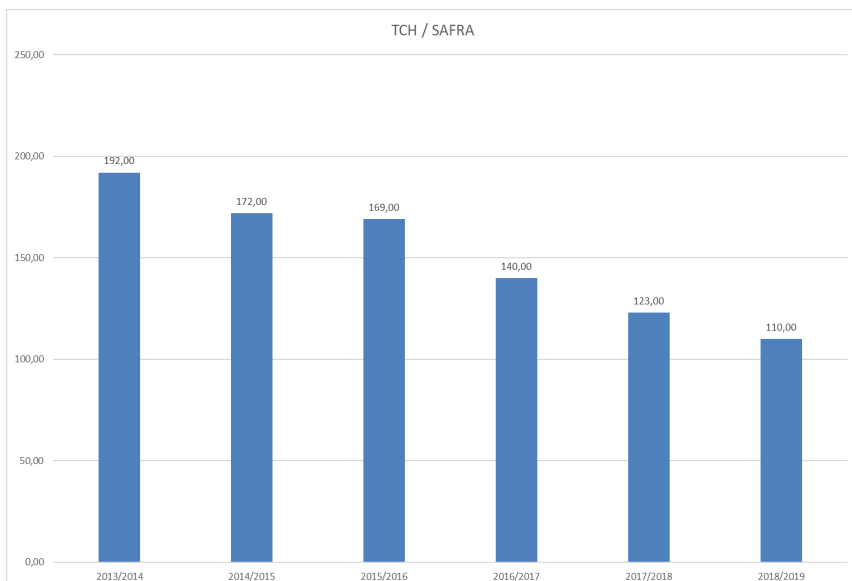


Figura 132 – Resultado de TCH por safra no projeto Nogueira após a reforma – Variedade RB 92 579.

7.3 Gotejamento para estabilizar a produção e economizar água

Redator: Daniel Botelho Pedroso

Localizada no município de Santa Rita – PB, em 2008 a Usina Japungu transformou o modo de produzir cana-de-açúcar suas unidades. Vivenciando grandes períodos de irregularidades climáticas, o grupo resolveu apostar na tecnologia de irrigação por gotejamento para garantir estabilidade da produção e economia de água. Com capacidade de moagem de 4,7 milhões de toneladas, dividido entre as unidades da Paraíba e Goiás, foi no Nordeste que a empresa aposta no uso da irrigação localizada para aumentar a produtividade e longevidade dos canaviais.

Esse projeto é um dos maiores casos de sucesso em relação ao sistema e irrigação localizada por gotejamento, pois em um solo extremamente arenoso (abaixo de 3% de argila) após 9 safras a média do projeto está em 106 t/ha, sendo que a referência de produtividade da região é de 45 t/ha em apenas 3 anos.

A Tabela 40 fornece detalhes do cliente e a Tabela 41, da solução. O resultado final está ilustrado nas Figura 133 a Figura 135.

Tabela 40 – Detalhes do Cliente.

DETALHES DO CLIENTE	
Cliente:	Usina Japungu – Fazenda Ilha
Data de implementação:	2008
Cultura:	cana-de-açúcar
Local:	Santa Rita - PB
Área Total Irrigada:	50 ha (projeto piloto)
Sistema de irrigação:	Gotejamento subterrâneo
Índice Pluviométrico:	1.554 mm
Tipo de solo:	Neossolo quartzo arenico (3% de argila)

Tabela 41 – Detalhes da Solução.

DETALHES DA SOLUÇÃO	
Gotejador:	Drip Net PC AS - 16150
Vazão do Gotejador:	1 L/h
Espaçamento entre gotejadores:	0,4 m
Espaçamento entre tubos gotejadores:	1,8 m (1,4 x 0,40 m)
Taxa de aplicação:	1,39 mm/h
Lâmina do projeto:	4,4 mm/dia



Figura 133 – Iturama – MG (Foto: Daniel Pedroso – Netafim).



Figura 134 – Iturama – MG (Foto: Daniel Pedroso – Netafim).

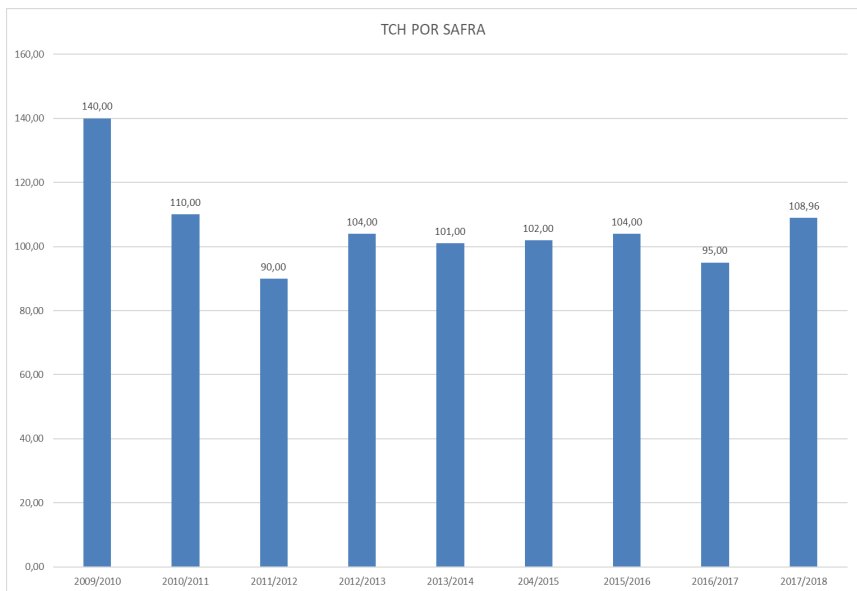


Figura 135 – Resultado de TCH por safra - variedade RB 92 579.

7.4 Alas Móveis para o plantio de mudas pré-brotadas

Redator: Marcelo Ferrero

O objetivo deste projeto de irrigação foi de substituir o Caminhão/Trator Tanque, na Irrigação do Plantio de Mudas MBP em Sistema de Meiosi, pelo sistema de Alas Móveis.

Obteve-se um resultado excelente, uma vez que com apenas 3 aplicações obteve-se 99% de pegamento das mudas, devido à qualidade da irrigação desse sistema pois forma-se uma faixa irrigada de 2 metros de largura, o que garante a umidade no solo por um tempo maior.

Quando comparada com a aplicação via caminhão/trator tanque, houve a necessidade de até 7 aplicações, para um pegamento em torno de 80%, que além de um custo maior para essa operação, tem-se que considerar a compactação do solo.

A Tabela 42 e Figura 136 fornecem informações gerais da região e detalhes do projeto.

Tabela 42 – Informações Gerais.

INFORMAÇÕES GERAIS	
Região do Projeto:	Norte de Goiás
Área do Projeto:	245 ha
Início do Plantio:	10/07/2019
Taxa de Multiplicação:	1:14
Lâmina Aplicada por Turno de Rega:	55mm
Turno de Rega:	07 a 10 dias
Número Total de Aplicações:	3 aplicações
Taxa de Pegamento:	99%

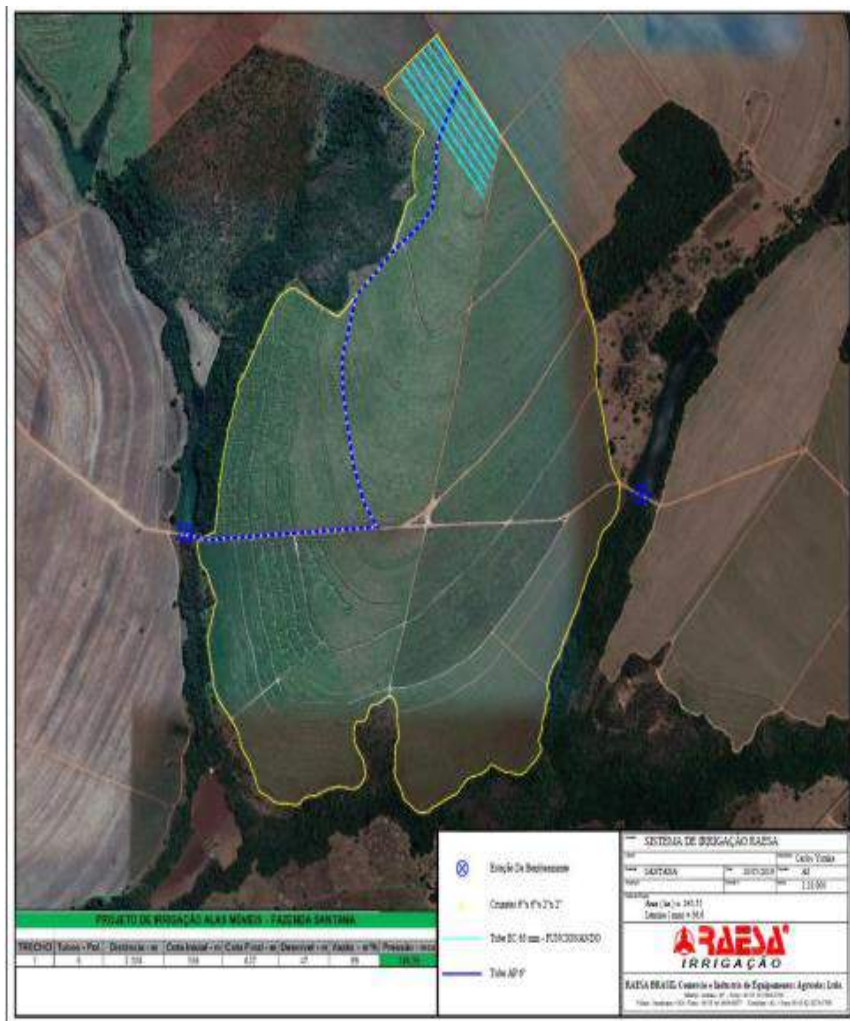


Figura 136 – Mapa da área do projeto de irrigação por alas móveis, Fazenda Santana.

A sequência de fotos ilustra aspectos do projeto (Figura 137 a Figura 140).



Figura 137 – Início da irrigação.



Figura 138 – Manutenção da lâmina de molhamento.



Figura 139 – Após a terceira lâmina: 99% pegamento.



Figura 140 – Após a terceira lâmina: 99% pegamento.

7.5 Pivô na Bioenergética Vale do Paracatu – Bevap

Redatores: Alécio Cantagalo Junior e Dálisson Souza

Implantada no noroeste do Estado de Minas Gerais, município de João Pinheiro, na região do Vale do Rio do Paracatu, a Bioenergética Vale do Paracatu - Bevap está posicionada estrategicamente em relação aos mercados consumidores locais e vias de exportação.

A região caracteriza-se pelo relevo plano, com grandes diversidades de solos, ótima disponibilidade de recursos hídricos (Rio Paracatu, Rio Preto, Ribeirão Entre Ribeiros e Rio Verde), altitude e condições climáticas ideais para o cultivo de cana-de-açúcar.

O alta índice de luminosidade e temperatura são ideais para o crescimento da cana-de-açúcar durante todo o ano, resultando em um grande potencial de desenvolvimento e produtividade dessa cultura. No entanto, todo esse potencial é limitado devido ao grande déficit hídrico da região que pode chegar a aproximadamente 700 mm/ciclo, em um índice de pluviosidade médio de 1.200 mm/ano, conforme observado nos gráficos das Figura 141 e Figura 142:

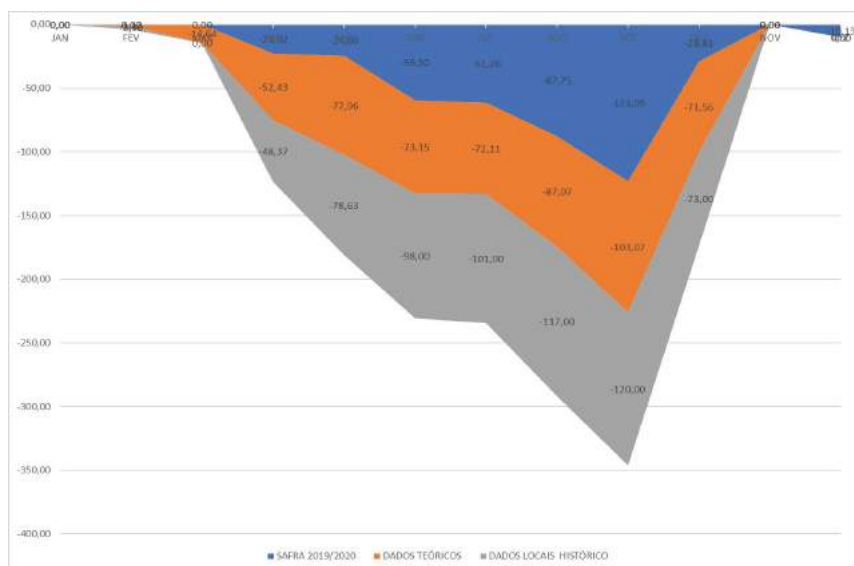


Figura 141 – Déficit hídrico da região de João Pinheiro – MG.

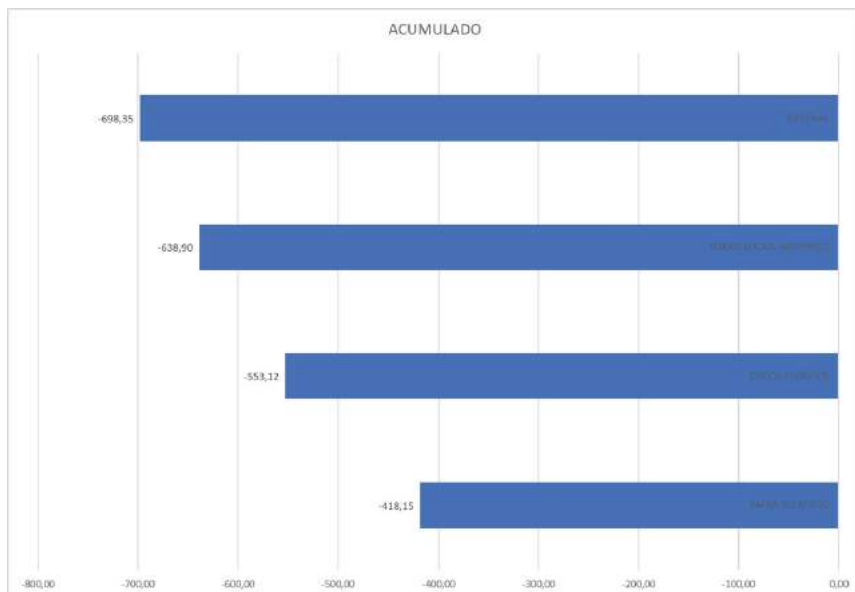


Figura 142 – Déficit hídrico acumulado da região de João Pinheiro – MG.

Diante dessa característica da região e a necessidade de superar a crescente demanda do mercado consumidor, a Bevap decidiu investir em irrigação, sendo que uma delas é a irrigação por pivô central.

Com esse investimento, os ganhos com o aumento de produtividade foram impressionantes, pois utilizando sistema de irrigação por pivô central, com uma lâmina de 5,54 mm em 21 horas, obteve-se aumento de produtividade em mais de 100% quando comparado com a testemunha. E como se não bastasse o aumento no TCH (Toneladas de Cana por Hectare), essa tecnologia gerou um aumento de TAH (Toneladas de Açúcar por Hectare) na faixa de 86 %, conforme demonstrado na Figura 143.

Esses resultados demonstram que o uso da irrigação, através do sistema de pivô central, é de extrema importância no cenário de produção da Bevap, elevando a produtividade e com grande ganho na produção de açúcar.

As Figura 144 a Figura 146 ilustram a área de irrigação feita por pivô.

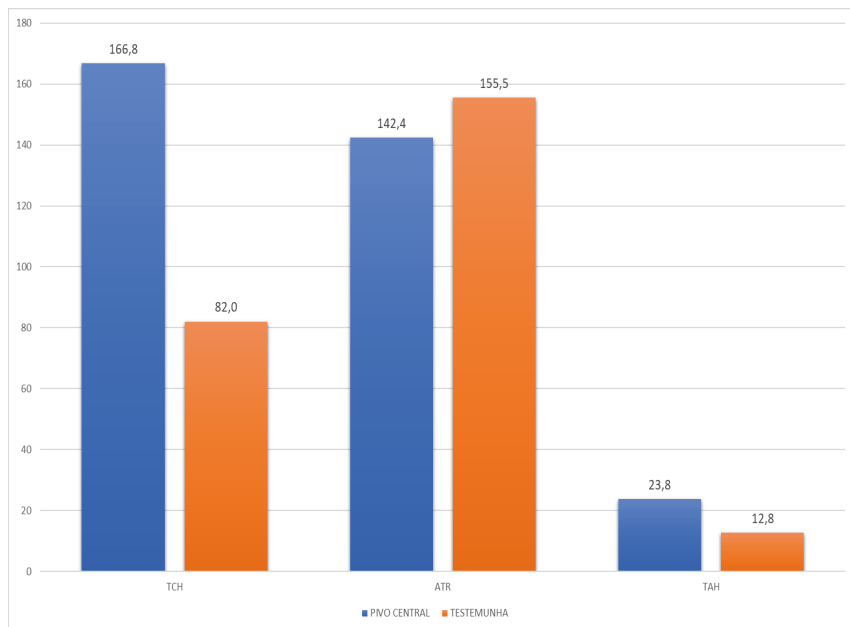


Figura 143 – Dados de produtividade (TCH e TAH) do pivô comparado a sua testemunha.

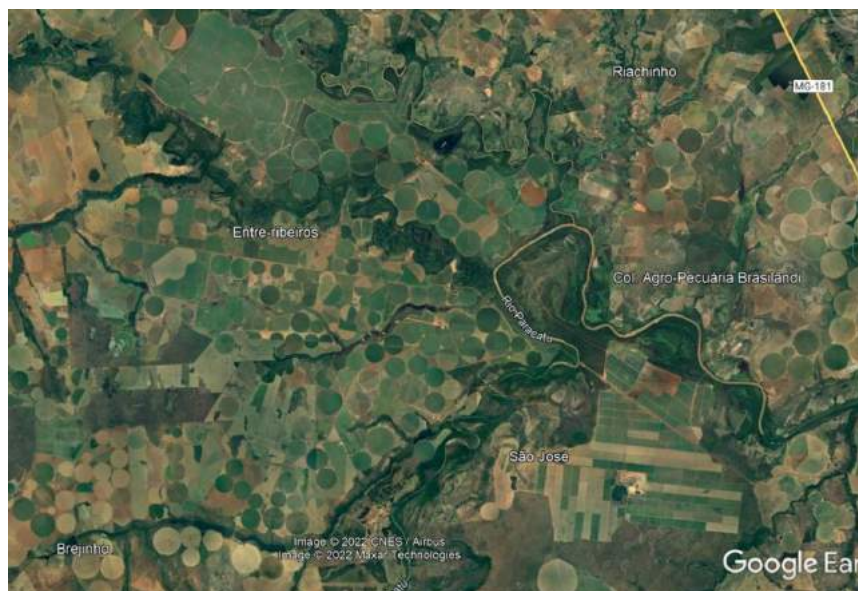


Figura 144 – Áreas de irrigação por pivô (Fonte: Google Earth).



Figura 145 – Área irrigada por pivô (Fonte: Bevap).



Figura 146 – Área irrigada por pivô (Fonte: Bevap).

7.6 Carretel Enrolador para salvamento

Redatores: Vinícius Bof Bufon e Elis Marina de Freitas

Irrigação de Salvamento – clareando o conceito

Trata-se da aplicação, imediatamente após a colheita, de uma única lâmina de 30 a 60 mm (300 a 600 m³.ha⁻¹) de água pura, ou com algum grau de mistura com vinhaça e água residuária, visando melhor brotação dos canaviais colhidos no período mais seco da safra. O objetivo do salvamento não é fazer a suplementação da deficiência hídrica ao longo do ciclo da cultura, mas, simplesmente, garantir seu estabelecimento na fase inicial - fase de germinação ou brotação.

Semelhantemente à aplicação de vinhaça e água residuária, o salvamento é normalmente realizado com equipamento de aspersão tipo autopropelido, também chamado de carretel enrolador, ou outro sistema de aspersão.

Comparada à demanda hídrica total da cana-de-açúcar em um ciclo de 12 meses no Cerrado de São Paulo, uma lâmina de 40 mm de salvamento é quase 3 vezes maior do que a lâmina normalmente aplicada via vinhaça ou residuária (aprox. 15 mm). Contudo, esses 40 mm ainda representam menos de 2% da demanda hídrica total desse ciclo de 12 meses (aprox. 2000 mm). Portanto, a prática do salvamento não deve ser confundida com um sistema irrigado de produção, quando se suplementa uma fração maior da deficiência hídrica ao longo de todo o ciclo da cultura.

Um caso de sucesso em cada usina

Todo o setor sucroenergético, toda usina, pelo menos em sua bacia de vinhaça, realiza indiretamente a irrigação de salvamento e, portanto, possui seu caso de sucesso do efeito do salvamento na produtividade e longevidade de seus canaviais.

Na bacia de vinhaça, geralmente, aplica-se uma lâmina de aproximadamente 15 mm, equivalente a 150 m³.ha⁻¹ de algum mix de vinhaça e água residuária. Mesmo sendo uma lâmina inferior aos 30-60 mm de uma operação convencional de salvamento, é na bacia de vinhaça que se encontra a maior produtividade e longevidade dos canaviais de uma usina, mesmo quando se compara ao desempenho de áreas sem o salvamento em solos melhores, fora da bacia.

O melhor desempenho do canavial na bacia de vinhaça também pode ser atribuído à melhor fertilidade dessas áreas. Certamente esse é um fator positivo. Contudo, a produtividade e longevidade na bacia de vinhaça são normalmente

superiores mesmo em relação a áreas fora da bacia que recebem nutrição adequada ou com solos originalmente mais férteis. Ou seja, a maior produtividade e longevidade da bacia de vinhaça é majoritariamente explicada pela adição da água, que proporciona melhor condição de brotação das soqueiras.

Nos últimos anos se tem tido uma nova e forte evidência de que é a água a razão da maior produtividade e longevidade das bacias de vinhaça. Com o advento da vinhaça localizada e, consequentemente, redução da área de bacia de vinhaça, parte da bacia passou a não mais receber aplicações dos 15 mm com carretel. E é recorrente o testemunho de usinas observando que, nessas áreas, mesmo com padrão elevado de fertilidade das décadas recebendo vinhaça, não mais se atingem a longevidade de quando recebiam o maior volume de água.

Por isso, toda usina brasileira, mesmo que indiretamente, tem o seu próprio caso de sucesso da prática da irrigação de salvamento sobre a qualidade da brotação, produtividade e longevidade do canavial.

Como o setor sucroenergético brasileiro está localizado predominantemente em ambiente de Cerrado, ou zonas de transição para o Cerrado, com elevado déficit hídrico no momento da colheita e, logo, na fase de brotação, a deficiência hídrica é mais restritiva do que a deficiência nutricional.

Contudo, frequentemente, por má qualidade da operação ou deficiência da infraestrutura e capacidade de aplicação, não se otimiza a eficiência do uso da água da vinhaça e residuária nas usinas. A dinâmica de aplicação acaba seguindo o ritmo da demanda de descarte da indústria, faça chuva ou faça sol, criando-se, frequentemente, as chamadas áreas de sacrifício. Ao invés de seguir um manejo adequado e se aplicar estritamente o volume adequado e maximizar a área que atendida pela tecnologia, áreas de sacrifício recebem um volume de vinhaça ou residuária substancialmente superior ao necessário.

Além do risco ambiental e desserviço à sustentabilidade, como resultado, áreas de sacrifício sofrem com o empoçamento do líquido de elevada acidez e salinidade (e as vezes com alta temperatura), e com a consequente perda de população de plantas, produtividade, chegando até a morte da soqueira.

Hoje a legislação ambiental inibe a existência dessas áreas de sacrifício. No mesmo sentido, o aumento da frequência e intensidade das secas também tem favorecido o uso mais eficiente da vinhaça e água residuária, promovendo a expansão da área que a recebe.

Por ocasião do agravamento da intensidade e frequência das secas, diversas usinas também têm investido e obtido sucesso agrônomo ao incrementar a capacidade de adicionar mais água na vinhaça e residuária, elevando os tradicionais 15 mm para lâminas entre 30 e 60mm.

Salvamento pela vinhaça localizada

Visando aumentar a fração de seus canaviais que recebem nutrientes da vinhaça, as usinas têm investido na aplicação localizada com trator. Como resultado, a área que recebe vinhaça é ampliada e consegue-se maior eficiência de uso de nutrientes na usina. Por outro, considerando que o déficit hídrico da cana em fase de brotação no Cerrado é normalmente superior aos 150 m³.ha⁻¹ aplicados por aspersão, substituí-la pela aplicação de 5 a 10 m³.ha⁻¹ localizada pode reduzir ainda mais a satisfação hídrica e, eventualmente, gerar uma redução da produtividade.

A aplicação localizada 10 m³.ha⁻¹ em uma faixa de 50 cm de largura (um terço de um espaçamento entrelinhas de 1,5 m) pode proporcionar maior uniformidade de aplicação comparada à aplicação por carretel. Esse volume 10 m³.ha⁻¹ consegue elevar a umidade de um latossolo médio do ponto de murcha à capacidade de campo numa faixa de aproximadamente 30 cm de profundidade. Comparando-se essa mesma aplicação de 10 m³.ha⁻¹ localizada com o mesmo volume aplicado por carretel em área total, além da melhor uniformidade de aplicação, tem-se uma redução da fração da água que seria perdida por evaporação.

Na aplicação localizada o jato é dirigido e próximo ao solo, na aspersão, gotas menores percorrem longa trajetória no ar, permitindo perdas por evaporação, deriva e arraste, antes mesmo de chegarem ao solo. Adicionalmente, enquanto na aplicação localizada somente uma fração do solo está umedecida e exposta à radiação, na aspersão toda a superfície do solo está umedecida e exposta. Na aplicação localizada, aproximadamente dois terços dos 10 m³.ha⁻¹ estariam acabariam armazenados abaixo de 10 cm de profundidade e, logo, estariam mais protegidos das perdas por evaporação. Consequentemente, uma aplicação localizada de 10 m³.ha⁻¹ certamente proporciona maior disponibilidade hídrica do que os mesmos 10 m³.ha⁻¹ aplicados via aspersão em área total.

Contudo, os ganhos proporcionados por uma aplicação localizada, seja pelo aumento da uniformidade de aplicação ou pela redução da perda por evaporação, provavelmente não compensariam a redução de oferta hídrica que ocorre quando se

substitui o $150 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ via aspersão convencional por $10 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ de uma aplicação de vinhaça localizada.

Como a vinhaça localizada é uma prática recente no setor sucroenergético brasileiro, os seus efeitos na satisfação hídrica, produtividade e longevidade dos canaviais ainda precisam ser melhor compreendidos. Do ponto de vista da satisfação hídrica, em comparação ao sequeiro, espera-se um ganho de produtividade com adoção da aplicação de vinhaça localizada. Mas, por outro lado, também se espera considerável redução da produtividade pela redução da satisfação hídrica nas áreas da bacia de vinhaça que, ao invés de $150 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ via aspersão passam a receber somente $10 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ da vinhaça localizada.

No início da safra (março-maio), final do período chuvoso, o pequeno volume de água da vinhaça localizada junto com a umidade residual do solo pode ser suficiente para garantir boa brotação. Semelhantemente, no final da safra (setembro-novembro), o pequeno volume de água da vinhaça localizada pode ser suficiente para garantir o início da brotação até que a próxima estação chuvosa chegue.

Contudo, se houver interrupção precoce da estação chuvosa no início do ano, ou se houver retardamento do retorno das chuvas no final do ano, a redução de 150 para $5\text{-}10 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ pode gerar grande prejuízo à brotação, produtividade e longevidade do canavial.

Outro ponto de atenção, já sendo observado em diversas usinas em anos mais secos, é o aumento da mortalidade de plantio ou soqueira em áreas de vinhaça localizada. Em anos de precipitação normal, ou mesmo no início e final de safra de anos mais secos, a umidade residual do solo e os eventos de chuva após aplicação da vinhaça localizada ajudam a diluir sua acidez e salinidade concentrada próximo às plantas. Em anos mais secos, ou até no meio da safra de anos com precipitação normal, a acidez e salinidade excessivas da vinhaça localizada, associada ao estresse hídrico e elevadas temperaturas, podem gerar redução do desenvolvimento, ou até a morte da planta. Atenção ainda maior deve ser dada no caso de enriquecimento da vinhaça.

Caso de sucesso no Grupo Jalles Machado

Há várias décadas, o grupo já identificava na irrigação de salvamento uma estratégia fundamental para garantir longevidade de seus canaviais. Nas primeiras experiências, em trabalho pioneiro e visionário, tanto em áreas experimentais quanto

comerciais, a adoção do salvamento já evidenciava ganhos sempre superiores a 15 t ha⁻¹ de colmos e 2 t ha⁻¹ de açúcar quando adotada a irrigação de salvamento.

Em quantificações de ganho realizadas na variedade SP79-1011, um salvamento com lâmina de 60 mm, foram registrados ganhos de 17,5 t ha⁻¹ de colmos (Figura 147) e 2,5 t ha⁻¹ de açúcar (Figura 148).

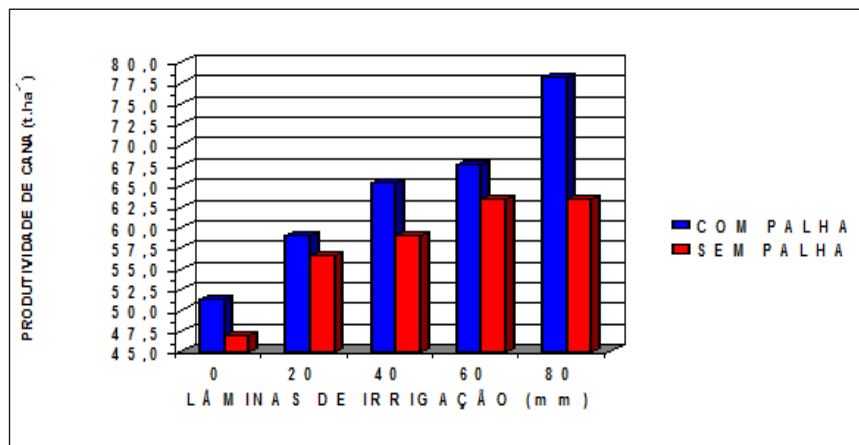


Figura 147 – Efeito da irrigação de salvamento e da manutenção da palhada na conservação da água no solo e na produtividade da cana-de-açúcar, variedade SP79-1011, em Goianésia-GO (Adaptado de OLIVEIRA *et al.*, 1999).

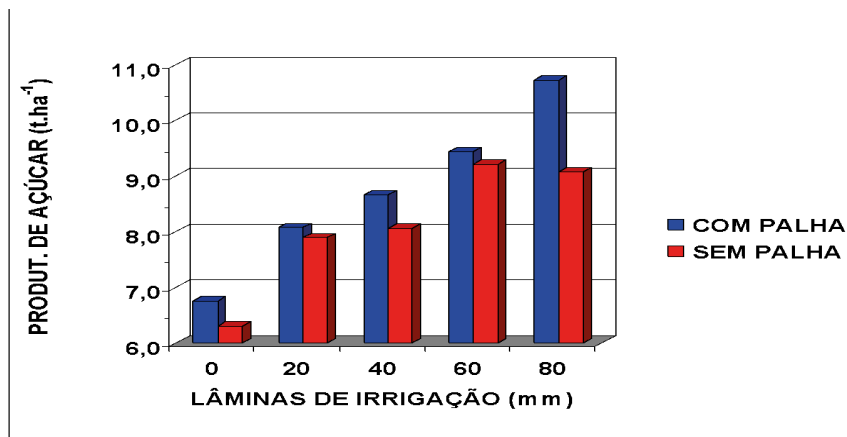


Figura 148 – Efeito da irrigação de salvamento e da manutenção da palhada na produtividade de açúcar, variedade SP79-1011 t ha⁻¹ em Goianésia-GO. (Adaptado de OLIVEIRA *et al.*, 1999).

Adicionalmente, evidenciou-se ganhos lineares de produtividade com o aumento da lâmina de salvamento até 80 mm. Ainda se registrou perdas expressivas de população de colmos e produtividade quando a palhada da cana era retirada, apontando a importância que a cobertura tem na preservação da umidade do solo. Em trabalho adicional do grupo Jalles Machado, liderado pelo então gerente agrícola, Rogério A. Bremm Gomes, um grande desenvolvedor e propagador da irrigação de salvamento, foram evidenciados ganhos de 25% na população e peso dos colmos, além da redução de 20 para 4% o índice de falha (Tabela 43) quando uma lâmina de 60 mm foi aplicada. Consequentemente, registrou-se nesse canavial ganho superior a 20 t ha⁻¹ de colmos (Figura 149) e 3 t ha⁻¹ de açúcar (Figura 150). Adicionalmente, evidenciou-se, mais uma vez, que o incremento da lâmina até 80 mm proporcionava ganho crescente de desenvolvimento e produtividade do canavial.

Tabela 43 – Influência de lâminas crescentes de irrigação de salvamento no número de colmos por metro, peso, altura e número de internódios por colmo e porcentagem de falhas na variedade RB845257 em Goianésia-GO.

Lâminas (mm)	Colmos (n° m ⁻¹)	Peso de Colmos (kg colmo ⁻¹)	Altura de colmos (cm)	Internódios (n° colmo ⁻¹)	Falhas (%)
0	8,4	0,58	123	11,7	19,3
40	9,7	0,61	129	12,2	12,6
60	10,5	0,73	166	15,5	4,3
80	11,1	0,75	171	15,7	2,0

Fonte: Rogério Bremm – dados não publicados

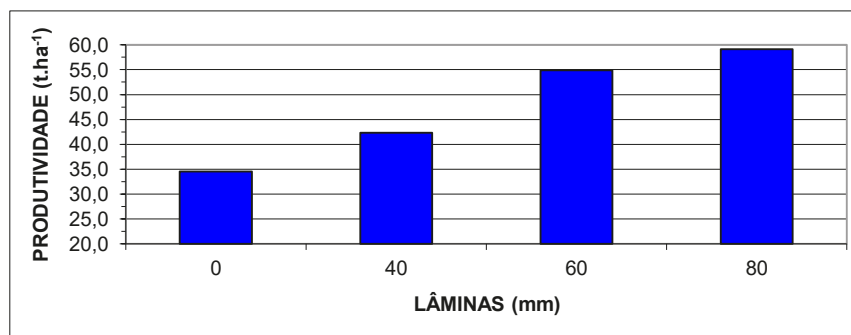


Figura 149 – Influência de lâminas crescentes de irrigação de salvamento na produtividade de colmos da cana-de-açúcar, variedade RB845257, em Goianésia-GO. (Fonte: Rogério Bremm – dados não publicados).

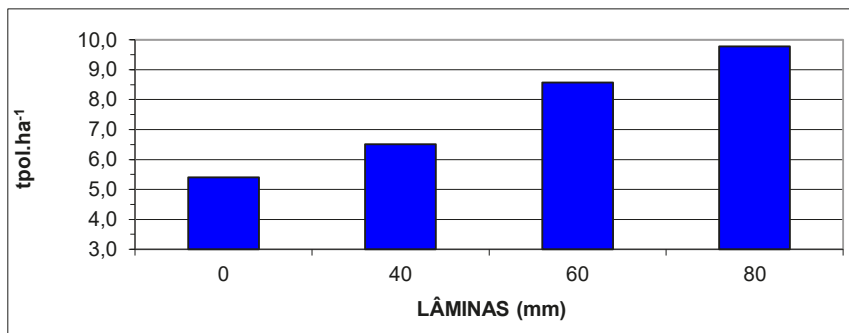


Figura 150 – Influência de lâminas crescentes de irrigação de salvamento na produtividade de açúcar, da variedade RB845257, em Goianésia-GO. (Fonte: Rogério Bremm – dados não publicados).

Parcelamento das lâminas: Quando a capacidade operacional de aplicação do salvamento é inferior à velocidade de colheita, uma dúvida recorrente diz respeito à viabilidade de parcelar a lâmina pretendida. Ou seja, aplicar, por exemplo, apenas a metade da lâmina, para depois retornar realizando a outra metade. Ocorre que, geralmente, quando terminada a aplicação da primeira metade da lâmina, já haverá ainda mais área colhida que não recebeu irrigação de salvamento. Deve-se ainda considerar que, por exemplo, dividir uma lâmina de 60 mm e duas aplicações de 30 mm implica em aumento do tempo total de aplicação e custo por milímetro, dado que duas aplicações de 30 mm requerem duas operações de montagem ao invés de uma única. Ou seja, reduz-se a eficiência operacional. Essa estratégia da divisão da lâmina de salvamento só será interessante caso a área que poderá receber a irrigação de salvamento for restrita, e a infraestrutura de irrigação não tenha que depois acompanhar a frente de colheita para outras áreas.

Uma avaliação realizada por Rogério Bremm (dados não publicados) no grupo Jalles Machado mostrou que não houve ganho de produtividade ao subdividir uma lâmina de 80 mm em duas aplicações de 40 mm (Figura 151 e Figura 152). Ao contrário, evidenciou-se perda de produtividade de colmos e açúcar.

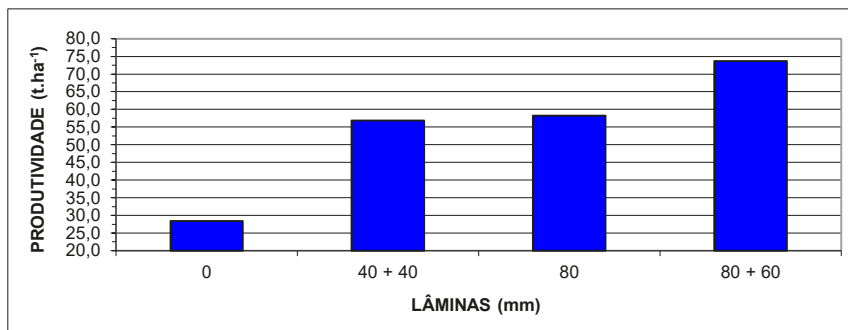


Figura 151 – Efeito do parcelamento da irrigação de salvamento na produtividade de colmos (t ha⁻¹) da variedade RB845257 na usina Jalles Machado S.A., município de Goianésia, Goiás (dados não publicados). Fonte: Rogério A. B. Gomes.

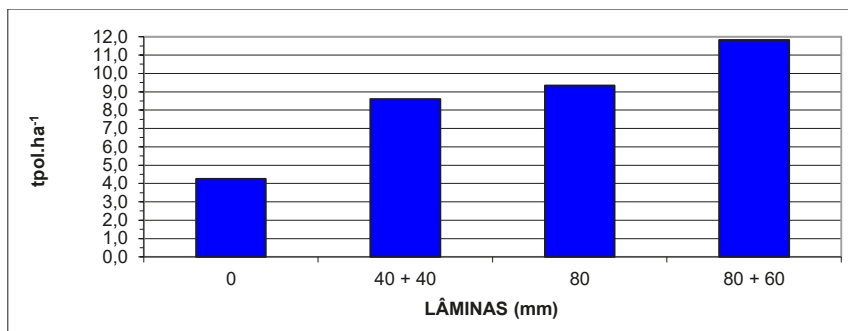


Figura 152 – Efeito do parcelamento da irrigação de salvamento na produtividade de açúcar (t pol ha⁻¹) da variedade RB845257 na usina Jalles Machado S.A., município de Goianésia, Goiás (dados não publicados). Fonte: Rogério A. B. Gomes.

A partir de 2010, uma parceria da Embrapa com o grupo Jalles Machado expandiu a experimentação para aprimorar as estratégias de salvamento. Como os resultados que a Jalles Machado tinha para o salvamento eram com variedades da década de 80 e 90, questionava-se se não haveria espaço para otimização da estratégia, sobretudo diante das promessas de maior tolerância a seca das novas variedades que estavam sendo introduzidas ao manejo varietal.

Nos primeiros experimentos, conduzidos entre 2012 e 2020 com 8 variedades (CTC4, IACSP911099, IACSP955000, RB867515, SP860042, IACSP912101, CTC15 e RB92579), ganhos lineares de produtividade de colmos foram registrados quando lâminas de até 60 mm foram aplicadas. O incremento da lâmina para além dos 60 mm e até 120 mm também resultou em aumento de produtividade de colmos. Contudo, em alguns anos, os ganhos por milímetro desse

volume adicional de salvamento foram inferiores àqueles alcançados com lâminas de até 60 mm. Em anos mais secos, os ganhos de produtividade continuaram lineares até a lâmina de 120 mm.

Na média das 8 variedades, considerando como ponto de reforma uma produtividade de 65 t ha^{-1} , a irrigação de salvamento com 60 mm proporcionou ganho de, pelo menos, dois cortes adicionais. Para algumas variedades, esse aumento chegou a 4 cortes.

Em outro experimento, numa parceria da Embrapa e do IAC com a Jalles Machado, com 16 variedades, mas com apenas 2 soqueiras de duração, mostrou-se que a irrigação de salvamento desacelerou em 50% a perda da população de colmos (Figura 153 e Figura 154).

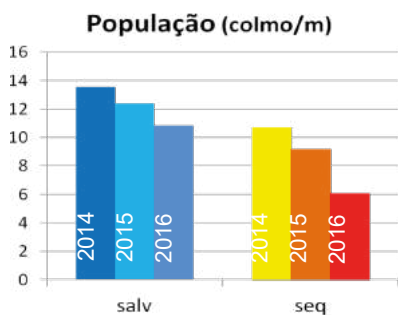


Figura 153 – Efeito da irrigação de salvamento (40 mm) sob a evolução da população de colmos ($\text{n}^\circ \text{ colmos.m}^{-1}$) na média de 16 variedades de cana-de-açúcar em Goianésia-GO.

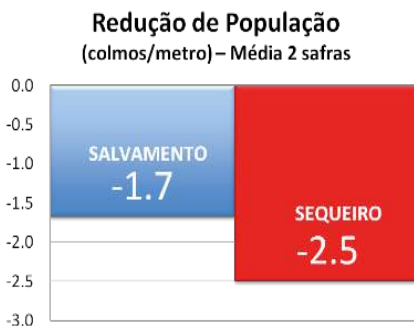


Figura 154 – Efeito da irrigação de salvamento (40 mm) sob a perda de população de colmos por safra ($\text{n}^\circ \text{ colmos.m}^{-1}.\text{safra}^{-1}$), na média de duas safras e 16 variedades de cana-de-açúcar, em Goianésia-GO.

Em outro trabalho da Embrapa no Grupo Jalles Machado, identificou-se que, sob anos de seca mais intensa, qualquer atraso na aplicação de irrigação de salvamento superior a 7 dias já resultava em perdas de população de plantas (Figura 157 e Figura 158).

Atualmente, o grupo Jalles Machado aplica irrigação de salvamento em 50% da área colhida, aproximadamente 30 mil hectares. Em média, o ganho de longevidade é de 2 cortes, com ganhos de produtividade médios entre 10 a 20 t ha^{-1} , e frequentemente próximos a 25 - 30 t ha^{-1} .

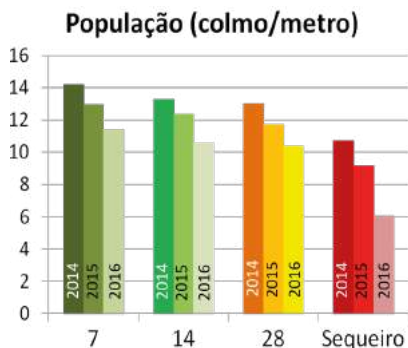


Figura 155 – Efeito do momento de aplicação de 40 mm de salvamento (7, 14 ou 28 dias após a colheita) sob a evolução da população de colmos (n° colmos. m^{-1}), ao longo de três safras, e na média de 12 variedades de cana-de-açúcar, em Goianésia-GO.

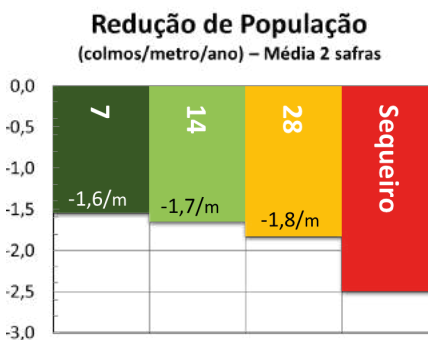


Figura 156 – Efeito do momento de aplicação de 40 mm de salvamento (7, 14 ou 28 dias após a colheita) sob a perda de população de colmos por safra (n° colmos. m^{-1} .safra $^{-1}$), na média de três safras e 12 variedades de cana-de-açúcar, em Goianésia-GO.

Caso de sucesso na Fazenda Monte Azul

A Fazenda Monte Azul é fornecedora de cana para o Grupo SJC e está localizada no sudoeste goiano, em uma zona de transição do bioma Mata Atlântica para Cerrado. O perfil do solo apresenta excelente fertilidade e boa capacidade de armazenamento de água, superior a 1 mm.cm $^{-1}$, ou seja, superior à média dos solos tropicais.

Com produtividade média sempre superior a 100 t ha $^{-1}$, e frequentemente acima de 110 t ha $^{-1}$, associada à idade média próxima a 6 anos, poderia ser considerada uma situação de baixa probabilidade de resposta à irrigação de salvamento.

Contudo, em parceria com a Embrapa, um minucioso acompanhamento evidenciou ganhos da irrigação de salvamento sempre superiores a 14 t ha $^{-1}$ na média de 22 variedades e 4 safras. Esses ganhos ocorreram sob salvamento realizado no mês de Junho. Teoricamente, como o déficit hídrico é ainda maior nos meses de Julho a Setembro, conclui-se que esses ganhos podem ser ainda superiores se a irrigação de salvamento for realizada em canaviais colhidos nesses meses.

Caso de sucesso na BP Bunge

Sob a diretoria do agrônomo Rogério Bremm, profissional com longa experiência em irrigação de salvamento, a BP Bunge tem investido massivamente nessa estratégia.

Em 2022, a BP Bunge concluiu infraestrutura capaz de aplicar o salvamento em 40% do canavial próprio de suas 11 unidades, que possuem capacidade de moagem de 32,4 milhões de toneladas. A infraestrutura está preparada para entregar até 40 mm de um mix de água, vinhaça, e água residuária em aproximadamente 150 mil hectares. Até 2025, o grupo pretende completar infraestrutura para cobrir 55% de seu canavial.

A estratégia de implantação da irrigação de salvamento priorizou cobrir a maior área possível, o mais rápido possível, e interromper a perda prematura das soqueiras, e a reforma prematura dos canaviais. Considerando o elevado custo de formação do canavial, a reforma prematura em dois anos representa uma elevação de 35 a 40% o custo de formação-reforma por ciclo, um quadro financeiramente insustentável.

Apesar de saber que, agronomicamente, a melhor resposta (melhor retorno por milímetro aplicado) ocorreria com lâmina de aproximadamente 60 mm, a BP Bunge priorizou cobrir a maior área possível com uma lâmina mínima para garantir a sobrevivência da soqueira - 40 mm, para então, depois, priorizar o incremento da lâmina para além dos 40 mm. Com essa lâmina 40 mm, o resultado médio alcançado é a ampliação da longevidade do canavial em mais 2 cortes, com uma adição de, pelo menos, mais 10 t ha⁻¹ por safra.

Casos de sucesso na experimentação científica

Apesar de ainda haver muita demanda e oportunidade de aprimoramento da irrigação de salvamento, o histórico de experimentação científica sobre o tema é longo.

Os ganhos de produtividade (em toneladas de colmo por hectare – TCH) reportados são sempre expressivos, como pode ser observado na Tabela 44.

Tabela 44 – Ganho de produtividade da cana-de-açúcar, em toneladas de colmo por hectare (TCH) submetida à irrigação de salvamento.

Local do estudo	Ganho médio de TCH em relação ao sequeiro	Referência
Ceres, GO.	Lâmina: 60mm = 32,75 t/ha	Arriel, F.H. (2020)
Usina CRV Industrial de Carmo do Rio Verde – GO.	44 t/ha	Bastos et al. (2021)
Planaltina, DF	Lâmina de 60mm = > 40 t/ha	Batista, L.M.T. (2013)
Usina Jalles Machado, Goianésia, GO.	Lâmina: 60mm = 30,4 t/ha	Buffon, et al. (2021)
Pirenópolis, GO. Fazenda Boa Vista, Vale do São Patrício	Lâmina: 20mm= 7,7 a 9,6 t/ha Lâmina: 40mm= 12,1 a 14 t/ha Lâmina: 60mm= 16 t/ha Lâmina: 80mm= 16,4 a 26,8t/ha	Campos et al. (2013)
Rio Largo, AL.	29,0 t/ha = 49,35%	Cardozo, L.E.C. (2005)
Regiões de SP (Ribeirão Preto e Araçatuba); MG (Paracatu); GO (Itumbiara); PE (Petrolina); MS (Paranaíba).	18 t/ha	Cardozo et al. (2018)
Goianésia, GO.	27,2 t/ha	Coelho et al. (2015)
Quirinópolis, GO.	30%	Cunha et al. (2016)
Norte do Estado de São Paulo	16,5 t/ha	Frizzzone et al. (2001)
Ribeirão preto, SP	30,4 t/ha	Matioli et al. (1998)
Capim, PB.	15,42 t/ha	Moura et al. (2005).
Goiânia, Goiás	12 a 15 t/ha	Pereira et al. (2015)
Coruripe, Alagoas.	15,9 t/ha	Santiago et al. (2018)
Coruripe, Alagoas	Lâmina: 60 mm = 22,1 t/ha	Santos et al. (2005)
Goianésia, GO.	Lâmina: 60 mm = 9 a 10 t/ha	Silva et al. (2015).
São Miguel do Campos, Alagoas.	18,7 t/ha	Silva et al. (2019)
Planaltina, DF.	Lâmina de 60 mm = 36 t/ha	Rodolfo et al. (2016)
Regiões de SP, PB, TO E MG.	Lâminas de 30 a 150 mm= 14 a 29,7 t/ha	Viana e Sentelhas (2016)

Na maior parte desses resultados, somente uma ou duas safras foram acompanhadas. Contudo, como a perda de população de plantas é sempre mais acelerado na ausência do salvamento, a diferença de produtividade tende a crescer à medida que o canavial envelhece, ou seja, nos cortes mais avançados. Por essa razão, a experimentação de longa duração é muito importante para entender não somente o ganho do salvamento na primeira ou segunda soqueira, mas também o ganho acumulado ao longo de várias soqueiras, em um ciclo inteiro de produção.

Por essa razão, e ainda visando refinar ainda mais a tecnologia da irrigação de salvamento, tem-se conduzido na Embrapa, em parceria com usinas, uma rede de 24 experimentos, cujos resultados dos primeiros 4 anos (ainda não publicados) são iguais ou superiores aos reportados na Tabela 44.

Dessa forma, diante dos inúmeras casos de sucesso em escala experimental e comercial, da instabilidade climática e agravamento das secas, entende-se que a irrigação de salvamento é a tecnologia que pode trazer, no curto prazo e em larga escala, a maior contribuição para produtividade, longevidade, redução dos custos de reforma, e redução da abrupta oscilação anual de moagem das usinas brasileiras.

7.7 Gotejamento Móvel em mudas pré brotadas

Redator: Leandro Renato Giunzioni Lance

O sistema de irrigação com tubo gotejadores moveis da NaanDanJain se tornou uma ferramenta importante para o máximo pegamento e desdobra das mudas pré brotadas (MPB), principalmente quando o transplântio é realizado nos melhores meses para a desdobra.

O plantio de mudas pré brotadas está cada dia mais inserido nos sistemas de produção de cana-de-açúcar. Seja para formação de viveiros em meiose e cantose ou em plantio de grandes áreas, o estresse hídrico é um dos poucos limitantes para a implantação desta tecnologia. Visando mitigar este risco a NaanDanJain desenvolveu um kit móvel, que pode irrigar essas áreas até que as mudas ganhem rusticidade e consigam resistir aos veranicos.

Os kits são extremamente simples e fáceis de montar e manejar, são apresentados em 2 versões, um que irriga até 110 ha de plantio em meiose 10:1 e outro que irriga 5 ha em cantosi (Figura 159 a Figura 161).

Com a utilização destes kits, foi possível observar o aumento da porcentagem de mudas pegadas, passando de 80% para mais de 95% em 18 projetos instalados nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Goiás e Bahia.



Figura 157 – Resultado do projeto de gotejamento em 5 meses, de julho a outubro de 2022. (Fonte: NaanDanJain).

Outro resultado importante foi o aumento da taxa de desdobra, obtendo um incremento médio de 55% quando irrigado até os 3 meses de idade, se comparado aos sistemas irrigados apenas para salvamento, com a aplicação de 2 lâmina até os 20 dias de plantio.



Figura 158 – Kit de gotejamento móvel instalado. (Fonte: NaanDanJain).



Figura 159 – Tubo gotejadores móveis em projeto de irrigação de MPB. (Fonte: STA Tech Cana).

7.8 Gotejamento em fornecedor de cana do Noroeste Paulista

Redator: *Leandro Renato Giunzioni Lance*

Localizado no noroeste paulista, senhor Oscar é um fornecedor de cana-de-açúcar que percebeu a baixa rentabilidade e o elevado risco se sua atividade e logo conseguiu achar o culpado por esses atributos negativos. O déficit hídrico da região, associado a textura arenosa do solo é uma combinação que acarreta baixa produtividade. Incomodado com a condição o empresário e visionário buscou alternativas tecnológicas para reverter a situação.

Em 2021 ele decidiu investir em irrigação, e implantou o sistema de irrigação por gotejamento da NaanDanJain em uma área de 135 ha com o que existe de melhor para garantir elevação de produtividade.

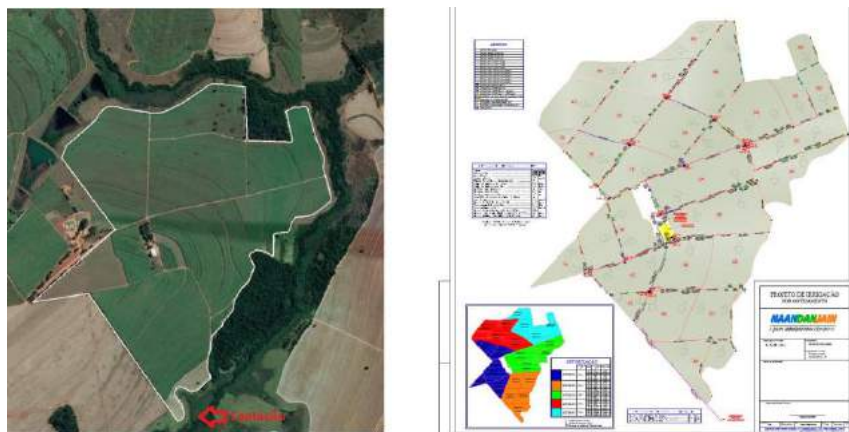


Figura 160 – Área do projeto de gotejamento. (Fonte: NaanDanJain).

Toda tecnologia voltada ao incremento de produtividade e sustentabilidade do projeto, foi adotada integralmente.

Os resultados já são visíveis e o produtor está muito contente (Figura 161), o acompanhamento mensal elaborado no canavial, já indica uma produtividade 60% superior à média da região, garantindo assim uma condição de rentabilidade viável para a manutenção da atividade.

Sua meta agora é alcançar as produtividades já observada em outros projetos de irrigação por gotejamento da NaanDanJain no Brasil, como apresentado na Tabela 45.

Tabela 45 – Produtividade observada em regiões em projetos de irrigação por gotejamento da NaanDanJain no Brasil.

Região	Produtividade alcançada (t/ha)
Sul de Goiás	247
Centro de Goiás	193
Interior de São Paulo	178
Norte de Minas	235

Fonte: NaanDanJain.

O Sr. Oscar é um exemplo a ser seguido por produtores que optem por avaliar os riscos e oportunidades de sua atividade e tenha coragem de tomar a decisão correta na hora certa.



Figura 161 – Resultados do projeto de gotejamento em 5 meses, de junho a outubro de 2022. (Fonte: NaanDanJain).



Figura 162 – Resultados do projeto de gotejamento em 6 meses, de junho a novembro de 2022. (Fonte: NaanDanJain).

7.9 Gotejamento na Usina Da Mata

Redator: Leandro Renato Giunzioni Lance

Iniciado em 2017, o projeto de irrigação por gotejamento na Da Mata Açúcar e Álcool em parceria com a NaanDanjain Brasil adotou alguns parâmetros inovadores de projeto e operação que se tornaram referências mundiais de sustentabilidade e rendimento operacional. Abaixo apresentam-se algumas informações importantes da Da Mata Açúcar e álcool e em seguida lista-se 15 destes itens que se tornaram fundamentais para o sucesso deste projeto.

A Da Mata Açúcar e Álcool, localizada em Valparaíso – SP, é uma agroindústria do setor sucroenergético de alta performance, possui área agrícola contínua e com excelente raio médio de colheita, evapotranspiração elevada, com relevo levemente ondulado e recortado, com excelente disponibilidade hídrica (quantidade e qualidade) para irrigação. Assim como as outras empresas do setor, dependem da matéria prima (cana-de-açúcar) em volume, qualidade e custo adequados para que os melhores resultados sejam obtidos. Neste cenário a irrigação é uma ferramenta extremamente responsiva para melhorar dos resultados da empresa.

O projeto de irrigação por gotejamento integrou as operações agrícolas e manejo do canavial, abrangendo uma área de 3.600 ha, destes 980 ha já estão implementados (2022), projetado para fornecer matéria prima de alta qualidade para a indústria no período de maior restrição hídrica (final de safra nesta região), desta forma o impacto positivo de produtividade, se dará não apenas na área irrigada mas também nas demais áreas que serão colhidas um pouco antes, reduzindo assim o déficit hídrico, como apresentado na Figura 163.



Figura 163 – Histórico pluviométrico Da Mata 2021-2022 (Fonte: Da Mata).

Como se pode observar no mapa apresentado na Figura 164, a localização estratégica, próxima da fonte de água e da indústria, possibilitou reduzir a demanda energética para efetuar a irrigação, utilizar energia gerada na própria indústria, que chega até os pontos de bombeamento por uma rede própria de distribuição e reduzir o raio médio de captação, reduzindo assim o custo de transporte, a utilização de combustíveis fósseis e emissão de gases.



Figura 164 – Programação das outorgas para 3.600 ha, Da Mata. (Fonte: NaanDanJain).

A implantação em grandes módulos

O projeto tem implantação modular, onde cada estação de bombeamento fornece água e fertilizantes para aproximadamente 1.000 ha, que são divididos em 5 projetos de aproximadamente 200 ha cada. O primeiro módulo foi instalado em 2018 e anualmente implanta-se novas áreas (Figura 165). Esse modelo otimiza a mão-de-obra e as estruturas de fertirrigação, sem perder eficiência na distribuição de água e fertilizantes.



Figura 165 – Implantação em grandes módulos, Da Mata. (Fonte: NaanDanJain e Da Mata).

Sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial

Com tubo gotejadores TopDrip autocompensante, com labirinto “cascade” e dispositivo antissifão, que garantem uma distribuição uniforme, sem sucção de partículas do solo (Figura 166). Esses emissores são instalados a aproximadamente 30 centímetros de profundidade, mantendo umidade e nutrição ideal no sistema radicular e reduz ainda mais as perdas por evaporação, atribuindo ao sistema uma eficiência no uso da água superior a 95%.

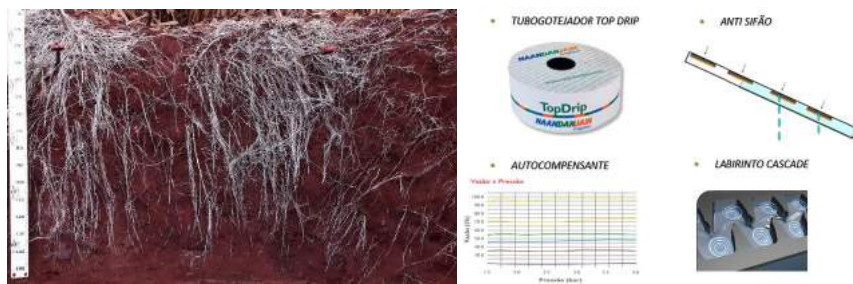


Figura 166 – Mostra do sistema radicular, Da Mata. (Fonte: NaanDanJain).

Válvulas de limpeza de linhas

Uso de válvulas de limpeza nos finais de linha (Figura 167), que realiza a limpeza das linhas gotejadores a cada irrigação, reduzindo o uso de mão de obra na operação do sistema, reduzindo o risco de entupimento e possibilitando a visualização das linhas que estejam operando com baixa pressão ou que apresentem dano que interrompa o fluxo de água. Seu labirinto espesso, a possibilidade de alterar o volume de água na limpeza e a opção de realizar a abertura para limpeza, tornam esta válvula única no mercado.

Controlador Gavish integrado com o monitoramento climático e imagens

O monitoramento do clima e do solo, são integrados com o controlador que determina o tempo de operação de cada setor do projeto, garantindo assim a reposição hídrica planejada de forma simples (Figura 168). As imagens de satélite indicam o desenvolvimento do canal e a umidade do solo, permitindo assim uma checagem do manejo e identificação de pontos que demandem manutenção corretiva.

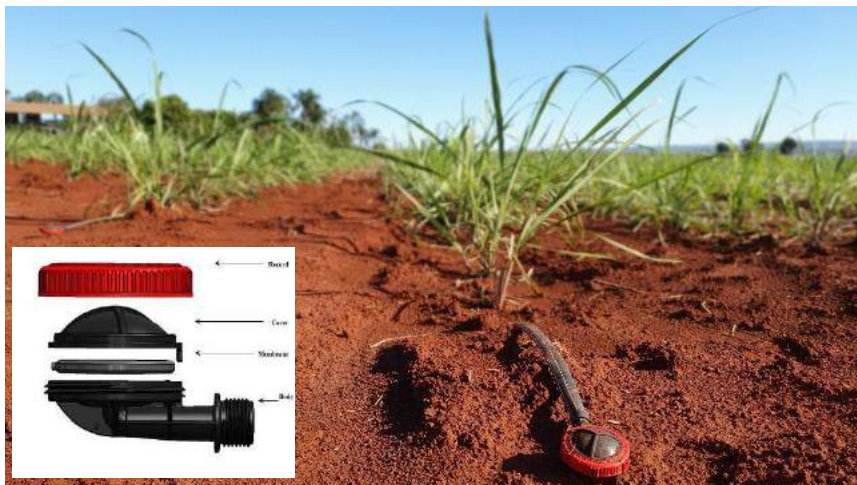


Figura 167 – Detalhes das válvulas de limpeza nos finais de linha. (Fonte: NaanDanJain).

By Pass machine



Figura 168 – Controlador Gavish integrado com o monitoramento climático e imagens. (Fonte: NaanDanJain).

Fertirrigação automática

Em cada estação de bombeamento existe uma “fábrica” de fertilizantes (Figura 169), que solubiliza os fertilizantes a serem aplicados no projeto, em caixas de 10.000 L ficam armazenadas as caldas de nitrogênio, fósforo, micronutrientes e outros produtos, que são bombeados para o projeto em pequenos volumes, respeitando a curva de demanda do cultivo sem necessidade de operações manuais.



Figura 169 – “Fábrica” de fertilizantes em cada estação de bombeamento. (Fonte: NaanDanJain).

Sistematização e conservação do solo

Integrando rendimento agrícola, conservação de solo e otimização hidráulica, a sistematização sugerida e elaborada pela equipe NaanDanJain agregou qualidade aos projetos de irrigação por gotejamento, reduzindo custo e mão de obra e aumentando a longevidade por reduzir o pisoteio (Figura 170).

Uso de vinhaça filtrada

Vinhaça e água residuária são aplicadas no sistema de irrigação após passar por um filtro BAG (tecnologia totalmente disruptiva) que retém praticamente todo sólido presente no resíduo e mantém os nutrientes solúveis como o potássio e os ácidos húmicos (Figura 171). Dando destinação aos resíduos, reduzindo os custos de fertilização e melhorando as características do solo.

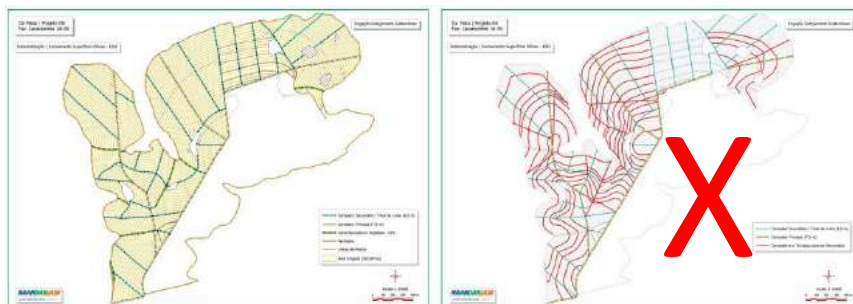


Figura 170 – Conservação do solo e otimização hidráulica. (Fonte: NaanDanJain).



Figura 171 – Aplicação de vinhaça e água residuária no sistema de irrigação após passar por um filtro BAG. (Fonte: NaanDanJain).

Implantação com mudas pré brotadas:

Cerca de metade do projeto foi plantado utilizando mudas pré-brotadas em área total, mudas e tubo gotejadores foram implantados em uma única operação, possibilitando a utilização das variedades mais responsivas para irrigação, com ótima sanidade e uniformidade na implantação (Figura 172). O sistema de irrigação forneceu água imediatamente após o transplântio, o que acarretou em 97% de pegamento das mudas.



Figura 172 – Implantação de mudas pré brotadas. (Fonte: NaanDanJain).

Reuso da água de retro lavagem

Um reservatório adicional foi instalado para decantar a água da retro lavagem e retornar para o reservatório a água sem os resíduos sólidos, desta maneira se recupera diariamente mais de 100 m³, após esta utilização, diversos projetos de irrigação por gotejamento adotaram esta tecnologia (Figura 173).



Figura 173 – Reservatório adicional para decantar a água da retro lavagem, Da Mata à direita e Usina localizada em Goiás à esquerda. (Fonte: NaanDanJain).

Utilização de tubos de polietileno verde

Outra tecnologia inovadora utilizada neste projeto foi o uso de tubos de polietileno produzidos a partir do etanol da cana-de-açúcar. Esses tubos (Figura 174) têm características técnicas e durabilidade idênticas aos produzidos a partir do petróleo, no entanto são produzidos a partir de fontes renováveis, reduzindo a emissão de gás carbônico.



Figura 174 – Tubos com a faixa verde, indicando a fabricação a partir de resina oriunda da cana-de-açúcar. (Fonte: NaanDanJain).

Operação e manutenção:

Os 980 ha são operados por um líder, isso é possível pela concentração em uma casa de bomba. Outros 10 auxiliares são responsáveis por toda operação no campo, em um modelo bastante interessante, onde cada auxiliar é responsável sempre pela mesma zona, aumentando seu conhecimento da área e elevando o compromisso com qualidade. Segundo a gestora do projeto, Graziela Nunes durante apresentação no 5º IRRIGACANA, esta forma de trabalho melhorou bastante a operação e qualidade do projeto.

Suporte técnico e capacitação NaanDanJain

O compromisso da NaanDanJain com o resultado de cada projeto é evidenciado na política de implantação dos projetos de cana-de-açúcar, onde durante 1 ano, um técnico da empresa acompanha todas as operações, garantindo assim que o treinamento da equipe seja realizado integralmente. Essa operação também garante uma evolução constante nos projeto e equipamentos, pois vive-se a operação junto com o produtor e juntos buscam-se todas tecnologias que agreguem valor ao projeto NaanDanJain.

Tabela 46 – incremento de produtividade por corte e por variedade utilizada.

Variedade	Número de cortes	Incremento de produtividade t/ha a mais que sequeiro
CTC 9002	3	41
RB975201	3	69
CTC 4	3	59
RB92579	3	73
RB867515	3	75
RB975242	3	61
RB92579	4	75
RB975476	3	72
RB92579	2	49
RB92579	1	90
INCREMENTO MÉDIO		68

Fonte: NaanDanJain.

A produtividade

Com 4 safras concluídas, o incremento de produtividade supera as previsões da bibliografia e agrega em média, mais de 100% de produtividade se comparado com a produção de sequeiro. Além disso, o dobro de longevidade, também garante redução de custo e aumento da sustentabilidade da atividade.

A Tabela 46 demonstra o incremento de produtividade por corte e por variedade utilizada.

Conclusão do Caso de Sucesso

Fica evidente a viabilidade e importância da irrigação para redução do custo de produção da cana-de-açúcar com a diluição dos principais custos fixos (área e plantio), com isso a Da Mata pretende expandir o projeto nos próximos anos.

CAPÍTULO 8 – BIBLIOGRAFIA

ALVES, T. L. **Produtividade de cultivares de cana-de-açúcar sob irrigação subsuperficial em área infestada com nematoides e carvão**. Dissertação de Mestrado em Agronomia (Ciência do Solo) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Unesp, Jaboticabal, 42p, 2020.

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico Ministério do Desenvolvimento Regional, **ATLAS IRRIGAÇÃO - Uso da Água na Agricultura Irrigada**. 2a edição BRASÍLIA – DF, 2021

ANA – Agência Nacional de Águas, **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019: informe anual**, Brasília, DF, 2019.

ANA – Agência Nacional de Águas, **Cadernos de Capacitação em Recursos Hídricos – Volume 6 – Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos**, Brasília, DF, 2011.

ANA - Agência Nacional de Águas, **Cobrança pelo uso dos recursos hídricos**. A publicação faz parte do conjunto de encartes do Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2019, Brasília, DF, 2019a.

ANA – Agência Nacional de Águas, **Diagnóstico da Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos no Brasil**. Caderno de Recursos Hídricos. Volume 4. Agência Nacional de Águas. Disponível em: <www.ana.gov.br>. Brasília. 2007. 168 p

ANA – Agência Nacional de Águas, **Manual de Procedimentos Técnicos e Administrativos de Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos da Agência Nacional de Águas**. Brasília, DF, 2013

ANA - Agência Nacional de Águas. **Levantamento da cana-de-açúcar irrigada e fertirrigada no Brasil**. Segunda Edição Revisada e ampliada, Brasília, DF: ANA, 2019.b.

ANDRADE, B. - Métodos de Irrigação e Quimigação – Circular Técnica 86 – Embrapa. 2006.

ARRIEL, F. H. **Desempenho agrônômico e atributos tecnológicos de cultivares de cana-de-açúcar sob parcelamento da irrigação**. Tese de Doutorado. INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, 2020.

BARCELOS, J. E. T. de. MEIOSI – Cana e alimentos (Método interrotacional ocorrendo simultaneamente). **Saccharum**, São Paulo, v. 7, n. 31, p. 10–18, 1984.

BASTOS, A. V. S. **Manejo de zinco e irrigação de salvamento em variedades de cana-de-açúcar cultivadas no cerrado**. 2021.

BATISTA, L. M. T. **Avaliação morfofisiológica da cana-de-açúcar sob diferentes regimes hídricos**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia e Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

BERNARDO SALASSIER - **Impacto Ambiental da Irrigação no Brasil**. Rev. Engenharia na Agricultura – Série Irrigação e Drenagem. Vol. 1, nº 1. Viçosa, MG; Departamento de Engenharia Agrícola, 1992. 7p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2006. 625 p.

BOMBARDI, R. J.; CARVALHO, L. M. V. de; Variabilidade do regime de monções sobre o Brasil: o clima presente e projeções para um cenário com 2xCO₂ usando o modelo MIROC. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, p.58-72, 2008.

BUCKERIGE, M. <https://saulcarvalho.com.br/wp-content/uploads/2016/10/sistemas-c3-c4.pdf> 2016.

BUCKS, D. A.; NAKAYAMA, F. S.; GILBERT, R. G. **Trickle irrigation water quality and preventive maintenance. Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 2, p.149-162, 1979.

BUFON, V. B.; MAIA, FC de O.; PEREIRA, R. M. **Sistema irrigado de produção de cana-de-açúcar no Brasil: história, mitos e desafios**. Embrapa Cerrados-Capítulo em livro técnico (INFOTECA-E), 2021.

CAMPOS, P. F.; RIBEIRO, P. H. P.; PEDROZO, M. A.; SOARES, R. A. B; ALVES JÚNIOR, J.; EVANGELISTA, A. W. P. Efeito de diferentes lâminas de reposição hídrica e cobertura do solo com palha na produtividade da cana-de-açúcar. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 06, n. 2, p. 55-65, mai/ago. 2013.

CAMPOS, P.F.; JUNIOR, J.A.; CASAROLI, D.; FONTOURA, P. EVANGELISTA, A.W.P. Variedades de cana-de-açúcar submetidas à irrigação suplementar no Cerrado Goiano. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.34, n.6, p. 1139-1149, nov./dez. 2014.

CARDOZO, L.E.C. Manejo de cana-de-açúcar em áreascom irrigação complementar. In: XXII Simpósio da Agroindústria da Cana-de-Açúcar no Estado de Alagoas. Maceió-AL. **Anais da STAB - Regional Leste**. (CD-ROM). 2005.

CARDOZO, N. P.; DE OLIVEIRA BORDONAL, R.; LA SCALA, N. Sustainable intensification of sugarcane production under irrigation systems, considering climate interactions and agricultural efficiency. **Journal of Cleaner Production**, v. 204, p. 861–871, 2018.

CASAROTTO, A.V.S. **Crescimento, morfologia e produtividade de variedades de cana-de-açúcar irrigadas em diferentes épocas**. Dissertação de Mestrado em Agricultura Tropical - Faculdade de Agronomia e Zootecnia, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 59p, 2017.

COELHO, M. C. **Efeitos da remoção do palhico residual na ciclagem de nutrientes e no desempenho agronômico da cana de açúcar**. 2015.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. V. 7 - SAFRA 2020/21 N.3 - Terceiro levantamento Dezembro 2020, disponível em: <http://www.conab.gov.br>, Brasília, DF, 2020.

COPERSUCAR - Aplicação da vinhaça na soqueira de cana-de-açúcar em três anos consecutivos. **Boletim Técnico Copersucar**, São Paulo, (12): 2-5. 1980.

COPERSUCAR - Efeitos da aplicação de vinhaça como fertilizante em cana-de-açúcar. **Boletim Técnico Copersucar**, São Paulo, (7): 14-19. 1978.

CUNHA, F. N., NELMCIO, F. D. S., MARCONI, B. T., WILKER, A. M., VITOR, M. V., EDUARDO, S.C., AYMEE, O.D. Agronomic performance and industrial yield of sugarcane under water-saving irrigation in cerrado soil. **African Journal of agricultural research**, v. 11, n. 32, p. 3056-3064, 2016.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A.H. **Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos**. Boletim nº 33. Roma: FAO, 1979. 212p. (FAO. Riego y Drenaje, 33).

ELIA NETO, A & NAKAHODO, T. **Caracterização físico-química da vinhaça- projeto nº 9500278**. Relatório Técnico da Seção de Tecnologia de Tratamento de Águas do Centro de Tecnologia Copersucar, Piracicaba, 1995. 26p.

ELIA NETO, A. & ZOTELLI, L.C. **Caracterização das Águas Residuárias para Reuso Agrícola**. CTC - Centro de Tecnologia Canavieira, Piracicaba, SP, 2008.

ELIA NETO, A. **Gestão dos Recursos Hídricos na Agroindústria Canavieira**. Publicação: Água, Indústria e Sustentabilidade, Confederação Nacional da Indústria – CNI, UNICA - União da Agroindústria Canavieira, FNS – Fórum Nacional Sucroenergético, Brasília, 2013

ELIA NETO, A.; SHINTAKU, A.; PIO, A.A.B.; CONDE, A.J.; GIANNETTI, F.; E DONZELLI, J.L. **Manual de Conservação e Reuso de Água na Agroindústria Sucroenergética**. ANA, FIESP, UNICA e CTC. Brasília, 2009.

ELIA, P. **Estabelecimento e desenvolvimento de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar sob diferentes lâminas de irrigação**. Dissertação de mestrado, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

EMBRAPA. Sistema de monitoramento agrometeorológico. 2015. Disponível em: <<http://www.agritempo.gov.br/agritempo/index.jsp>>. Acesso em: 13 set. 2014.
Embrapa: Qualidade de Água para Fins de Irrigação - Conceitos básicos e práticos - Gilberto Gomes Cordeiro.

FAO – Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura. **Dia Mundial da Água: FAO apela à inovação nas tecnologias da água para aumentar a eficiência do uso da água**. Notícia: FAO no Brasil, <http://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/pt/c/1186500/>, Fórum Internacional sobre Escassez de Água na Agricultura. (WASAG), Cabo Verde, 22/03/2019.

FAO – Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura. **AQUASTAT - Sistema mundial de información de la FAO sobre el agua en la agricultura**. Disponível em <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html?lang=en>, dados de 2017, acessado em 03/2020.

FERREIRA, E.S. da & MONTEIRO, A.O. de. **Efeitos da aplicação da vinhaça nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo**. Boletim Técnico Copersucar, São Paulo, (36):3-7. 1987.

FISCHER FILHO, J.A. **Resposta de cultivares de cana-de-açúcar a lâminas de irrigação via gotejamento subsuperficial**. Tese Doutorado em Agronomia (Ciência do Solo) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Jaboticabal, 100p, 2018.

FRIZZONE, J. A., SANTO MATIOLI, C., REZENDE, R., GONÇALVES, A. C. A. Viabilidade econômica da irrigação suplementar da cana-de-açúcar, *Saccharum spp.*, para a região Norte do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 23, p. 1131-1137, 2001.

GAVA, G. J. C.; SILVA, M. A.; SILVA, R. C.; JERONIMO, E. M.; CRUZ, J. C. S.; KÖLLN, O. T. Produtividade de três cultivares de cana-de-açúcar sob manejos de sequeiro e irrigado por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.3, p.250-255, 2011.

GUZZELLI, M. A. N.; MATIOLI, C.; ROSSI JR., J. L.; GIOVANNETTI, L.; DE BRITO, O. A.; ELIA, P.; CARITÁ, R.; TOMAZELLA, R.; ROMA, W.R. **Guia de Boas Práticas para Adutoras de Vinhaça e Águas**. 2 ed., GIFC – Grupo de Irrigação e Fertirrigação de Cana-de-açúcar, Piracicaba, SP, 2018.

LANDELL, M.G.A.; CAMPANA, M.P.; FIGUEIREDO, P. **Sistema de Multiplicação de cana-de-açúcar com uso de mudas pré-brotadas (MPB), oriundas de gemas individualizadas**. 2. ed. rev. Campinas: Instituto Agrônômico, 2013. 16p. (Documentos IAC, 109)

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S. & PALARETTI, L.F. **IRRIGAÇÃO: Princípios e Métodos**. Segunda edição, atualizada e ampliada. Viçosa, MG, 385p., Editora UFV, 2007.
MANZATTO, C.V. et al. **Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar**. Rio de Janeiro : Embrapa Solos, 2009. 55 p.

MASCHIO, R. **Produtividade da água em biomassa e energia para 24 variedades de cana-de-açúcar** *Dissertação* (Mestrado em Irrigação e Drenagem) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011, 88p

MATIOLI, C. S. **Irrigação suplementar de cana-de-açúcar (*Saccharum ssp*) ciclo cana soca: um modelo de análise de decisão para o Estado de São Paulo**. Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

MONTEIRO, L.A. **Quebra de produtividade (Yield Gap) da cana-de-açúcar no Brasil: uma abordagem baseada em modelo de simulação de culturas**. Tese de doutorado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba – SP, 2015.

MOURA, M.V.P.S.; FARIAS, C.H.A.; AZEVEDO, C.A.V. Levels of manuring in the sugarcane crop, first leaf, with and without irrigation. **Ciência e Agrotecnologia**, v.29, n.4, p.753-760, 2005.

OLIVEIRA, P.F.M.; SOARES, R.A.B.; RESENDE, N.C.; CARDOSO, H.R.; ROSENFELD, U.; MACHADO, V.F. Efeito da palha sobre a produtividade da cana-de-açúcar submetida a lâminas crescentes de irrigação de brotação. In: **CONGRESSO NACIONAL DA STAB**, 7, Londrina, 1999. Anais. Piracicaba: STAB, 1999. P. 141-145.

ORLANDO FILHO, J. & LEME, E.J. de A. Utilização agrícola dos resíduos da agroindústria canavieira. In: **Simpósio sobre Fertilizantes na Agricultura Brasileira**, Brasília, DF, **Anais**, p.451-475. 1984.

OTTO, B. & SCHKEUFER, L., **O uso doméstico de água cresceu 600% nos últimos 50 anos**. WRI – World Resources Institute, <https://www.wri.org/blog/2020/02/growth-domestic-water-use>, 10 de fevereiro de 2020.

PEDROSO, D.B. Resultados de productividad y eficiencia del uso del agua através del uso de riego por goteo en las 4 principales regiones de producción de caña de azúcar en Brasil, **XI Congresso ATALAC-TECNICANA**, Santiago de Cali, Colômbia, 2018.

PEIXOTO, M.J.C. & COELHO, M.B. Aplicação de vinhaça diluída em cana-de-açúcar por sistema de aspersão. **Congresso Nacional da Sociedade de Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil**, 2., Rio de Janeiro, Ago. 16-21, 1981. **Anais**. Rio de Janeiro, **STAB**, p.177-94. 1981.

PENATTI, C.P. & FORTI, J.A. Doses de vinhaça versus doses de nitrogênio em cana-soca. In: **VII Seminário de Tecnologia Agrônômica**. Piracicaba, 1997. **Anais**, Copersucar, p. 328-39. 1997.

PENATTI, C.P. Doses de vinhaça versus doses de nitrogênio em cana-soca durante quatro safras. **Relatório Interno Copersucar**, Usina São Luiz S.A., solo argiloso (LR-2). 1999a.

PENATTI, C.P. Doses de vinhaça versus doses de nitrogênio em cana-soca durante quatro safras. **Relatório Interno Copersucar** (RT928), Usina São José da Estiva, solo arenoso (LVA-9). 1999b.

PENATTI, C.P.; CAMBRIA, S.; BONI, P.S.; ARRUDA, F.C. DE O.; MANOEL, L.A. Efeitos da aplicação de vinhaça e nitrogênio na soqueira da cana-de-açúcar. **Boletim Técnico Copersucar**, São Paulo (44):32-38. 1988.

PEREIRA R.M., JÚNIOR J.A., CASAROLI D., SALES D.L., RODRIGUE, W.D.M., SOUZA J.M.F. Viabilidade econômica da irrigação de cana-de-açúcar no cerrado brasileiro. Irriga, v. 1, n. 2, p. 149, 2015.

PROJETO CANA PEDE ÁGUA. **Mapa de Necessidade de Irrigação de Cana no Brasil**. GIFC – Grupo de Irrigação e Fertirrigação de Cana-de-açúcar, Publicação: IDEANEWS, 2010.

RODELLA, A.A. & FERRARI, S.E. A composição da vinhaça e efeitos de sua aplicação como fertilizante na cana-de-açúcar. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, 90 (1): 6-13, 1977.

RODOLFO JUNIOR, F., RIBEIRO JUNIOR, W. Q., RAMOS, M., ROCHA, O., BATISTA, F., de LIMA, C. A. **Respostas fisiológicas em variedades de cana soca submetidas ao déficit hídrico**. 2016.

RODOLFO JUNIOR, F.; RIBEIRO JUNIOR, W.Q.; RAMOS, M.L.G.; ROCHA, O.C.; BATISTA, L.M.T.; SILVA, F.A.M. Produtividade e qualidade de variedades de cana-de-açúcar de terceira soca sob regime hídrico variável. **Nativa**, Sinop, v.4, n.1, p.36-43, jan./fev. 2016.

SANTIAGO, A.D.; CHICO, D.; ANDRADE JÚNIOR, A.S. de; GARRIDO, A.; CARNAUBA, P.J.P. Pegada hídrica da cana-de-açúcar e etanol produzidos no estado de Alagoas, Brasil. **Agrometeoros**, v.25, n.1, p.209-216, 2018.

SANTOS, M. A. L. dos. **Irrigação suplementar da cana-de-açúcar (Saccharum spp): Um modelo de análise de decisão para o Estado de Alagoas. Irrigação suplementar da cana-de-açúcar (Saccharum spp): Um modelo de análise de decisão para o Estado de Alagoas**. Diss. Universidade de São Paulo, 2005.

SCHMIDT, W. **Agricultura irrigada e o licenciamento ambiental**. Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Agronomia. Área de concentração: Fitotecnia. ESALQ – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiros – USP. Piracicaba, SP, 2007

SILVA R.C.F., SILVA F.B.V., BIONDI C.M., NASCIMENTO C.W.A., OLIVEIRA E.C.A. Assessing the content of micronutrients in soils and sugarcane in different pedogeological contexts of northeastern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.43, 2019

SILVA, I.N.; FONTES, L. DE O.; TRAVELLA, L.B.; OLIVEIRA, J.B. DE; OLIVEIRA, A.C DE. **Qualidade de Água na Irrigação**. Agropecuária Científica no Semi-Árido ISSN 1808-6845, Revisão de Literatura, ACSA - Agropecuária Científica no Semi-Árido, v.07, n 03 julho/setembro 2011 p. 01 – 15, www.cstr.ufcg.edu.br/acsa e <http://150.165.111.246/ojs-patos/index.php/ACSA/index>.

SILVA, M. A.; JIFON, J. L.; SILVA, J. A. G.; SHARMA, V. Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.19, p.193- 01, 2007.

SILVA, M.A.; ARANTES, M.T.; RHEIN, A.F.L.; GAVA, G. J.C.; KÖLLN, O.T. Potencial produtivo da cana-de-açúcar sob irrigação por gotejamento em função de variedades e ciclos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.18, n.3, p.241–249, 2014.

SILVA, R. B.; DIAS JUNIOR, M. S.; IORI, P.; DE MELO SILVA, F. A.; FOLLE, S. M.; FRANZ, C. A. B.; DE SOUZA, Z. M. Prediction of soil shear strength in agricultural and natural environments of the Brazilian Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 1, p. 82–91, 2015.

SIMA - Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente e Casa Militar do Gabinete do Governador. **Barragens no Estado de São Paulo: relatório do grupo de trabalho 2019 / São Paulo**. Gláucio Attorre Penna e Sonia Aparecida Abissi Nogueira (Coordenadores). São Paulo: SIMA, 2019.

SPERLING, E. VON, **Afinal, Quanta Água Temos no Planeta ?**, Universidade Federal de Minas Gerais -Belo Horizonte – MG, publicado em RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 11 n.4 Out/Dez 2006

STUPIELLO, J.P.; PEIXE, C.A.; MONTEIRO, H. & SILVA, L.H. Efeitos da aplicação da vinhaça como fertilizante na qualidade da cana-de-açúcar. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, 90 (3): 41-50, 1977.

UNICA – União da Indústria de Cana-de-Açúcar. **Histórico de área de cana-de-açúcar**, disponível em <https://observatoriadacana.com.br/historico-de-area-ibge.php?idMn=33&tipoHistorico=5>, acessado em 2019.

VIANNA, M.S.; SENTELHAS, P.C. Performance of DSSAT CSM-CANEGRO under operational conditions and its use in determining the “saving irrigation” impact on sugarcane crop. **Sugar Tech**, p.75-86. v.18(1). 2016

Editores

